

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Comportamiento de cementos ecuatorianos con humo de  
sílice y aditivo súper plastificante**  
Proyecto de Investigación

**Ricardo Sebastián Ponce Sánchez**  
**Víctor Adrián Tapia Mejía**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 14 de diciembre de 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Comportamiento de cementos ecuatorianos con humo de sílice y aditivo  
súper plastificante**

**Ricardo Sebastián Ponce Sánchez**

**Víctor Adrián Tapia Mejía**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Fabricio Yépez , Ingeniero Civil

Firma del profesor

---

Quito, 14 de diciembre de 2015

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Ricardo Sebastián Ponce Sánchez

Código: 00103192

Cédula de Identidad: 1719568899

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Víctor Adrián Tapia Mejía

Código: 00103700

Cédula de Identidad: 0603010745

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2015

## DEDICATORIA

A Victor Manuel, por su apoyo incondicional y sus consejos.

A Patricia, madre y la mujer más íntegra que he conocido.

Victor.

A toda la gente que hizo posible este sueño, a todos los que estuvieron ahí para vernos crecer.

Ricardo.

## AGRADECIMIENTO

A todos aquellos de quienes he aprendido algo.

Victor.

A mi familia por el apoyo incondicional, por saber escuchar y apoyar en todo momento. A la Universidad San Francisco de Quito por las oportunidades que me ha brindado en este camino. Al ingeniero Fabricio Yépez por su tutela a través de todos estos años. Y a Francisco Játiva por su guía amistosa en la ciencia del hormigón.

Ricardo.

## RESUMEN

La ingeniería civil en el Ecuador ha crecido enormemente en la última década. A pesar de este crecimiento, la vorágine del mundo actual es mucho más exigente en cuanto al desarrollo de nuevas tecnologías y materiales. A través de esta búsqueda de nuevas tecnologías que puedan solventar los nuevos problemas de construcción que se presentan, se han desarrollado nuevos materiales como el humo de sílice y los aditivos para hormigón. Estos materiales se adicionan con el objetivo de mejorar las propiedades físicas del hormigón, proporcionando mayores niveles de resistencia y otras propiedades mecánicas.

En Ecuador se han desarrollado principalmente tres grandes compañías productoras de cemento: Holcim, Selvalegre y Guapán. Cada una de estas compañías ha desarrollado sus productos en base a distintos estándares internacionales, con el objetivo de mejorar el rendimiento del cemento ecuatoriano. Sin embargo, es necesario conocer cuáles son las diferencias que tienen estos cementos entre sus componentes, y como éstos reaccionan al momento de adicionar materiales como el humo de sílice y el aditivo súper plastificante para producir hormigón de alta resistencia. Este estudio busca aclarar y establecer estas diferencias, para proporcionar a los constructores un criterio más adecuado al momento de seleccionar un producto de entre estas tres compañías.

**Palabras Clave:** Hormigón, Humo de Sílice, Aditivo super-plastificante, resistencia a la compresion, holcim, guapan, selva alegre.

## ABSTRACT

It is clear that civil engineering's studies have contributed to the world over the last decade. However, even if this subject's theories and applications for the discipline develop, it is certainly not enough since science now a days demands accuracy for new technologies and materials. Through the search of these technologies, they try to solve the current construction issues by creating new materials like silica fume, and the admixtures for concrete. These materials mix themselves with the objective of improving the physical properties of concrete, since it provides better levels of resistance and other mechanical properties.

In Ecuador, the three bigger cement companies: Holcim, Selvalegre y Guapán, have been developing on the field. Each of the enterprises has expanded their technology based on different international standards, with the objective of improving the quality and yield of the cement. However, it is necessary to know which are the differences that each of the cements and their components. On the other hand it is important to highlight the analysis of how the components, like super plasticizer admixture reacts within themselves to produce high strength concrete. This study aims to clarify and establish these differences to proportionate to constructors a better criterion to decide which product to select in between the three companies.

**Key Words:** Concrete, Silica Fume, Superplasticizer admixture, compression strength, holcim, guapán, selva alegre.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |            |
|--|------------|
| <b>Introducción .....</b>  | <b>12</b>  |
| <b>Antecedentes.....</b>   | <b>13</b>  |
| <b>Justificación .....</b>   | <b>15</b>  |
| <b>Objetivos del Proyecto .....</b>  | <b>16</b>  |
| Objetivos generales. ....  | 16         |
| Objetivos específicos. ....  | 17         |
| <b>Desarrollo del Tema.....</b>  | <b>18</b>  |
| <b>Normas.....</b>   | <b>18</b>  |
| ASTM C39-04: método estándar para pruebas de resistencia. ....                                     | 18         |
| ASTM C127: método para determinar peso específico y absorción del agregado grueso. ....            | 19         |
| ASTM C192-13: método estándar para curado de especímenes en laboratorio. ....                      | 19         |
| ACI 212.3R-10: mezclas químicas para el hormigón.....  | 21         |
| ASTM D422: clasificación de los agregados.....   | 21         |
| ASTM C494: especificación normalizada de aditivos químicos para el hormigón. ....                  | 21         |
| ASTM C1176-08: método estándar para cilindros de hormigón utilizando mesa vibradora. ....          | 22         |
| ACI 234R-96: guía para el uso de humo de sílice en hormigón. ....                                  | 22         |
| ASTM C597: método estándar para pulso de velocidad a través del hormigón. ....                     | 23         |
| <b>Materiales.....</b>   | <b>24</b>  |
| Agregados. ....  | 24         |
| Cementantes.....   | 31         |
| Humo de sílice. ....   | 31         |
| Cementos Utilizados. ....  | 35         |
| Holcim GU. ....  | 35         |
| Cemento guapán IP.....   | 36         |
| Cemento selva alegre plus. ....  | 38         |
| Aditivos. ....   | 39         |
| <b>Cálculo de dosificaciones .....</b>   | <b>44</b>  |
| <b>Análisis Y discusión .....</b>  | <b>48</b>  |
| <b>Análisis de resultados.....</b>   | <b>56</b>  |
| Cemento Holcim. ....   | 56         |
| Variación de Contenido de Humo de Sílice, manteniendo tipo de aditivo y porcentaje constante. .... | 56         |
| Variación de Aditivos, manteniendo constante el porcentaje de Humo de Sílice.....                  | 63         |
| Cemento guapán. ....   | 70         |
| Variación Humo de Sílice, manteniendo aditivo y proporción constante .....                         | 70         |
| Variación de Aditivos y porcentajes, manteniendo constante el porcentaje de Humo de Sílice .....   | 79         |
| Cemento selva alegre. ....   | 86         |
| Variación de Humo de Sílice, manteniendo constante el tipo de aditivo y su dosificación.....       | 86         |
| Variación de Aditivo y su proporción, manteniendo constante el porcentaje de humo de sílice. ....  | 93         |
| <b>Análisis cementos con Rheobuild. ....</b>   | <b>101</b> |
| Cemento guapán.....  | 101        |
| Cemento holcim.....  | 104        |
| Cemento selva alegre. ....   | 106        |
| <b>Cementos con sika. ....</b>   | <b>109</b> |
| Cemento holcim – sika.....   | 109        |
| Cemento guapán – sika.....   | 111        |
| Cemento selva Alegre – sika. ....  | 114        |
| <b>Cementos con uso de aditivo rheobuild 1000.....</b>   | <b>117</b> |
| Guapán, holcim, selva Alegre - 0% humo de sílice – 1, 2% rheobuild. ....                           | 117        |



|   |            |
|---|------------|
| Guapan, holcim, selva alegre - 2% humo de sílice – 1, 2% rheobuild.....                     | 119        |
| Guapan, holcim, selva alegre - 5% humo de sílice – 1, 2% rheobuild.....                     | 121        |
| Guapan, holcim, selva alegre - 10% humo de sílice – 1, 2% rheobuild.....                    | 123        |
| <b>Cementos sika.....</b>   | <b>125</b> |
| Cementos guapán, holcim, selva alegre 0% humo de sílice – 1, 2% sika.....                   | 125        |
| Cementos guapán, holcim, selva alegre 2% humo de sílice – 1, 2% sika.....                   | 127        |
| Cementos guapán, holcim, selva alegre 5% humo de sílice – 1, 2% sika.....                   | 129        |
| Cementos guapán, holcim, selva alegre 10% humo de sílice – 1, 2% sika.....                  | 131        |
| <b>Discusión .....</b>  | <b>134</b> |
| <b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>   | <b>146</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b>  | <b>148</b> |
| <b>Referencias bibliográficas .....</b>   | <b>150</b> |
| <b>Anexos .....</b>   | <b>152</b> |
| <b>Anexo No. 1 Dosificaciones para 1 metro Cúbico .....</b>                                 | <b>152</b> |
| <b>Anexo No. 2 Cálculo de costo por metro cúbico de cada una de las dosificaciones.....</b> | <b>155</b> |
| <b>Anexo No. 3 Gráfico de resistencia vs velocidad de onda. ....</b>                        | <b>203</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla No. 1 Especificación para los moldes de cilindros de hormigón. (Fuente: ASTM C39, 2004).....                             | 18  |
| Tabla No. 2 Especificación para la tolerancia de ensayo de cilindros de hormigón. (Fuente: ASTM C39, 2004) .....               | 19  |
| Tabla No. 3 Especificación para método de consolidación y número de capas. (Fuente: ASTM, 2007).....                           | 20  |
| Tabla No. 4 Especificación para diámetro de varilla y número de golpes para el método de varillado. (Fuente: ASTM, 2007) ..... | 20  |
| Tabla No. 5 Distribución Granulométrica de Arena. ....   | 25  |
| Tabla No. 6 Distribución Granulométrica Piedra 8. ....   | 26  |
| Tabla No. 7 Distribución Granulométrica de la mezcla de hormigón.....  | 28  |
| Tabla No. 8 Valores de absorción para agregados fino y grueso.....   | 31  |
| Tabla No. 9 Propiedades físicas cemento Holcim GU. ....  | 36  |
| Tabla No. 10 Resistencia a la compresión cemento Guapán IP. ....   | 37  |
| Tabla No. 11 Propiedades físicas cemento Guapan IP.....  | 38  |
| Tabla No. 12 Resistencia a la compresión cemento Selva Alegre Plus. ....   | 39  |
| Tabla No. 13 Propiedades de aditivos Rheobuild 1000 y Sika N-100. ....   | 43  |
| Tabla No. 14 Tabla de dosificaciones elaboradas. ....  | 50  |
| Tabla No. 15 Datos de agregados, cementantes y aditivo.....  | 51  |
| Tabla No. 16 Datos de absorción y densidades. ....   | 51  |
| Tabla No. 17 Dosificación para 1 metro cúbico de mezcla. ....  | 55  |
| Tabla No. 18 Precio por metro cúbico de las dosificaciones realizadas. ....  | 136 |
| Tabla No. 19 Dosificaciones de mayor eficiencia con cemento Holcim GU.....   | 137 |
| Tabla No. 20 Dosificaciones más eficientes manteniendo humo de sílice constante. ....  | 137 |
| Tabla No. 21 Dosificaciones más eficientes para cemento guapán manteniendo aditivo constante. ....                             | 138 |
| Tabla No. 22 Dosificaciones más eficientes para cemento guapán manteniendo constante humo de sílice.....                       | 139 |
| Tabla No. 23 Dosificaciones más eficientes cemento selva alegre manteniendo aditivo constante. ....                            | 140 |
| Tabla No. 24 Dosificaciones más eficientes para cemento selva alegre manteniendo constante humo de sílice.....                 | 140 |
| Tabla No. 25 Dosificaciones más eficientes entre los tres cementos con 0% SF.....  | 141 |
| Tabla No. 26 Dosificaciones más eficientes entre los tres cementos con 2% SF.....  | 142 |
| Tabla No. 27 Dosificaciones más eficientes entre los tres cementos con 5% SF.....  | 143 |
| Tabla No. 28 Dosificaciones más efectivas entre los tres cementos con 10% SF. ....   | 144 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura No. 1 Curva Granulométrica de arena .....                                  | 25  |
| Figura No. 2 Curva Granulométrica Piedra 8 .....                                  | 27  |
| Figura No. 3 Curva Granulométrica Mezcla de Hormigón .....                        | 29  |
| Figura No. 4 Proceso de Producción de Humo de Sílice .....                        | 32  |
| Figura No. 6 Holcim 1% Rheobuild .....  | 56  |
| Figura No. 7 Holcim - 2% Rheobuild .....  | 58  |
| Figura No. 8 Holcim - 1% Sika .....   | 59  |
| Figura No. 9 Holcim - 2% Sika .....   | 61  |
| Figura No. 10 Holcim 0% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                         | 63  |
| Figura No. 11 Holcim 2% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                         | 65  |
| Figura No. 12 Holcim 5% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                         | 67  |
| Figura No. 13 Holcim 10% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                        | 69  |
| Figura No. 14 Guapán - 1% Rheobuild .....   | 70  |
| Figura No. 15 Guapán - 2% Rheobuild .....   | 73  |
| Figura No. 16 Guapán - 1% Sika .....  | 75  |
| Figura No. 17 Guapán - 2% Sika .....  | 77  |
| Figura No. 18 Guapán 0% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                         | 79  |
| Figura No. 19 Guapán 2% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                         | 80  |
| Figura No. 20 Guapán 5% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                         | 82  |
| Figura No. 21 Guapán 10% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                        | 84  |
| Figura No. 22 Selva Alegre - 1% Rheobuild .....                                   | 86  |
| Figura No. 23 Selva Alegre - 2% Rheobuild .....                                   | 88  |
| Figura No. 24 Selva Alegre - 1% Sika .....  | 89  |
| Figura No. 25 Selva Alegre - 2% Sika .....  | 91  |
| Figura No. 26 Selva Alegre 0% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                   | 93  |
| Figura No. 27 Selva Alegre 2% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                   | 95  |
| Figura No. 28 Selva Alegre 5% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                   | 97  |
| Figura No. 29 Selva Alegre 10% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika .....                  | 98  |
| Figura No. 30 Cemento Guapán - Aditivo Rheobuild .....                            | 101 |
| Figura No. 31 Cemento Holcim - Aditivo Rheobuild .....                            | 104 |
| Figura No. 32 Cemento Selva Alegre - Aditivo Rheobuild .....                      | 106 |
| Figura No. 33 Cemento Holcim - Aditivo Sika .....                                 | 109 |
| Figura No. 34 Cemento Guapán - Aditivo Sika .....                                 | 111 |
| Figura No. 35 Cemento Selva Alegre - Aditivo Sika .....                           | 114 |
| Figura No. 36 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 0% SF - 1, 2% Rheobuild .....  | 117 |
| Figura No. 37 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 2% SF - 1, 2% Rheobuild .....  | 119 |
| Figura No. 38 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 5% SF - 1, 2% Rheobuild .....  | 121 |
| Figura No. 39 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 10% SF - 1, 2% Rheobuild ..... | 123 |
| Figura No. 40 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 0% SF - 1, 2% Sika .....       | 125 |
| Figura No. 41 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 2% SF - 1, 2% Sika .....       | 127 |
| Figura No. 42 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 5% SF - 1, 2% Sika .....       | 129 |
| Figura No. 43 Cementos Guapán, Holcim, Selva Alegre 10% SF - 1, 2% Sika .....     | 131 |

## INTRODUCCIÓN

En años recientes, la industria de la construcción ha empezado a mostrar un serio interés en el uso de hormigones de alto desempeño, debido a mejoras en el rendimiento estructural, tales como resistencia a la compresión alta y mayor durabilidad. El hormigón de alta resistencia solía estar limitado al uso en grandes estructuras como puentes, muelles, etc. Sin embargo, está ganando popularidad en la construcción de edificios y estructuras de uso común. (Kodur & McGrath, 2006).

Es posible alcanzar hormigones de alta resistencia a la compresión al reducir el coeficiente o la relación de agua-cementante y al mismo tiempo, se puede obtener un alto grado de trabajabilidad mediante la adición de aditivo súper-plastificante. No obstante, no es posible producir hormigones con alto desempeño con gran trabajabilidad sin reducir la relación agua-cementante. Para lograr esto, es necesaria la adición de humo de sílice. Recién en 1984, se logró producir hormigón con resistencia superior a los 80 MPa, esto se produjo gracias a la adición de humo de Sílice.

El humo de sílice es muy útil en la producción de hormigón, debido a que permite incrementar la relación agua-cementante sin bajar la resistencia a la compresión del hormigón requerida, y mantener una trabajabilidad en obra deseable. Además, debido al gran contenido de finos, el hormigón de alto desempeño tiende a ser cohesivo y viscoso, por lo cual requiere mayor revenimiento para tener mayor consolidación al momento de colocarlo en encofrados.

El Uso de aditivo súper-plastificante está condicionado a las especificaciones que provee el fabricante. Si se requiere extender al máximo las propiedades de trabajabilidad del hormigón de alto desempeño, se debe utilizar la dosis máxima recomendada. Sin embargo, esto no garantiza que la mezcla de hormigón tenga los mejores resultados, debido a que la eficiencia del aditivo depende de la calidad y composición de los materiales cementantes utilizados. (Kwan, 2000).

Está comprobado que usar la cantidad máxima de Humo de Sílice y de aditivo súper-plastificante, no siempre conduce a obtener los mejores resultados y además podría significar un alto costo de producción. Por esta razón, se ha concebido este estudio para lograr obtener dosificaciones y resultados óptimos en la producción de hormigón de alto desempeño, utilizando los cementos que tienen mayor comerciabilidad en el medio. De esta forma se puede proporcionar mayor seguridad en la operación de las estructuras y reducir el impacto ambiental que genera la industria de la construcción con hormigón.

## **Antecedentes**

La ciencia avanza generando nuevos conocimientos e introduciendo nuevas tecnologías aplicadas a los procesos de obtención de productos que muestren mayor eficiencia y menor costo, considerando también la protección y preservación del medio ambiente. De esta forma, el campo del desarrollo de hormigón sigue evolucionando y, hoy en día, se realizan controles de calidad cada vez más rigurosos, por lo que el desarrollo y la composición del hormigón deben responder cada vez más exigencias y alcanzar resistencias de diseño mayores, debido a las complejidades constructivas presentes actualmente.

Desde los años 30 se marcó una tendencia a optimizar las propiedades del Clinker para obtener mayor resistencia y durabilidad en el hormigón; de igual forma, se optimizó la producción, los procesos de dosificación y se obtuvo mayor conocimiento de las características físicas y mecánicas del hormigón.

En el Ecuador hoy en día, el cemento más utilizado para la construcción es el cemento compuesto tipo ASTM-C1157, el cual contiene puzolana y otras adiciones. Este tipo de cemento suele contener normalmente alrededor de entre el 15% al 20% de puzolana en su composición. Además, existen otros tipos de cemento, con producción y comercialización reducida en el país; sin embargo, poseen características distintas que permiten alcanzar y mejorar las propiedades del hormigón. Por lo general este tipo de cementos se utilizan para la construcción de infraestructura a gran escala, como centrales hidroeléctricas; por ejemplo se tiene el cemento tipo HE, comercializado en Ecuador por Holcim.

La microsíllica es un material de extrema finura y debido a su contenido de sílice, produce reacciones internas en la pasta de hormigón. Su uso empezó en las décadas de los ochenta y noventa para la producción del mismo. Se han evidenciado aumentos de entre el 20% y 50% en la resistencia del hormigón con la utilización de microsíllica, e incluso se puede mejorar el desempeño del mismo mediante la adición de aditivos plastificantes. Cuando se utiliza esta clase de aditivos, los porcentajes de microsíllica varían entre el 5% y 15% del peso total del cemento.

En la actualidad, el uso de aditivos plastificantes y humo de sílice en el hormigón hace posible optimizar tiempos de construcción, así como mejorar la calidad del hormigón e

incrementar la vida útil de las estructuras. Por esta razón es necesario investigar el efecto de estos componentes con los distintos tipos de cemento comercialmente disponibles en el país. El desarrollo de información útil para dosificación con estos materiales permitirá a los constructores ahorrar costos de compra de material y mejorar la calidad de sus obras estructurales.

## **Justificación**

Dentro de la industria cementera, a través de los años se han desarrollado algunos tipos de cemento con distintas características, los cuales buscan satisfacer diferentes tipos de necesidades y requerimientos presentes en la industria de la construcción. En la actualidad, han sido creadas grandes empresas que se dedican al perfeccionamiento del cemento desde sus componentes químicos, buscando mejorar las propiedades mecánicas del mismo, ya sea en su resistencia última, en su plasticidad o en cualquier otra de sus propiedades. De esta manera se han realizado importantes cambios en la estructura básica de los cementos ecuatorianos.

A su vez, se han desarrollado otros elementos que buscan sacar más provecho a las propiedades físico mecánicas del cemento, los aditivos y el humo de sílice. Los mismos que son utilizados en proporciones de acuerdo a especificaciones que son proporcionadas por el fabricante. La industria cementera ecuatoriana ha realizado grandes cambios en la elaboración del cemento, pero no se ha tomado en cuenta que mientras se han modificado los componentes básicos del cemento, se deber también tomar en cuenta las propiedades

químicas y el efecto que tienen los demás elementos al ser adicionados al cemento, como es el caso del humo de sílice y de los aditivos plastificantes. He aquí donde nace la importancia de realizar este estudio, ya que se ha evidenciado que en ocasiones el comportamiento del humo de sílice o de los aditivos plastificantes no es el esperado cuando se adicionan a ciertos tipos de cementos ecuatorianos.

El estudio del comportamiento de los cementos de mayor comerciabilidad en el Ecuador es de suma importancia y permitirá varias ventajas, entre ellas el uso eficiente de los materiales involucrados en la producción de hormigón. Dentro de la producción, se debe tomar siempre en cuenta el factor ambiental, y al conocer las proporciones exactas de cada componente, es posible producir hormigón de calidad y de manera sustentable. Además, se pretende establecer dosificaciones eficientes en las que el uso adecuado de aditivos y humo de sílice permitan reducir costos.

## **Objetivos del Proyecto**

### **Objetivos generales.**

Desarrollar y analizar mezclas de hormigón utilizando cementos Holcim GU, Selva Alegre Plus, Guapán IP, con agregado de 3/8 provenientes de la cantera de Pifo y porcentajes de humo de sílice de 0%, 2%, 5% y 10% mediante utilización de Aditivo súper-plastificante Rheobuild 1000 y Sikament N100 con porcentajes de 1% y 2%.



**Objetivos específicos.**

- Realizar ensayos de laboratorio que permitan determinar la resistencia a la compresión de las mezclas de hormigón diseñadas.
- Establecer la dosificación de mayor eficiencia en cuanto a costo y resistencia para cada cemento utilizado en el análisis.
- Encontrar correlaciones y diferencias entre las mezclas de hormigón producidas.
- Establecer conclusiones sobre los resultados obtenidos.

## DESARROLLO DEL TEMA

### Normas

#### **ASTM C39-04: método estándar para pruebas de resistencia.**

Esta norma se refiere a la determinación de la resistencia a compresión de un espécimen cilíndrico de hormigón. La resistencia a la compresión del mismo se determina mediante la división de la carga máxima obtenida durante la prueba y el área transversal del cilindro de hormigón. La norma además menciona las características que debe cumplir la máquina para su correcto desempeño, por ejemplo: el diseño, la exactitud y equipamientos.

| <b>Diámetro de especímenes de prueba<br/>In [mm]</b> | <b>Diámetro máximo de la cara de apoyo<br/>In [mm]</b> |
|--|--|
| 2 [50]   | 4 [105]  |
| 3 [75]   | 5 [130]  |
| 4 [100]  | 6,5 [165]  |
| 6 [150]  | 10 [255]   |
| 8 [200]  | 11 [280]   |

**Tabla No. 1 Especificación para los moldes de cilindros de hormigón. (Fuente: ASTM C39, 2004)**

Finalmente, la norma menciona la tolerancia máxima que deben tener los cilindros al momento de ser ensayados dependiendo de la edad de los mismos.

| <b>Edad de la prueba</b> | <b>Tolerancia permisible</b> |
|--------------------------|------------------------------|
| 24 horas                 | 0,5 horas o 2,1%             |
| 3 días                   | 2 horas o 2,8%               |
| 7 días                   | 6 horas o 3,6%               |
| 28 días                  | 20 horas o 3,0%              |
| 90 días                  | 2 días o 2,2%                |

**Tabla No. 2** Especificación para la tolerancia de ensayo de cilindros de hormigón. (Fuente: ASTM C39, 2004)

#### **ASTM C127: método para determinar peso específico y absorción del agregado grueso.**

Esta norma contempla la determinación de la densidad promedio de partículas de agregado grueso, densidad relativa y la absorción de agregado grueso. Las fórmulas de la misma serán mostradas en el desarrollo del estudio oportunamente y son de vital importancia para determinar la dosificación de cada una de las mezclas.

#### **ASTM C192-13: método estándar para curado de especímenes en laboratorio.**

La presente norma cubre los procedimientos necesarios para la realización y el curado de los especímenes de hormigón en laboratorio. Al seguir todos los procedimientos descritos en la norma, es posible obtener información que cumpla con los siguientes propósitos:

- Proporciones para hormigón proyectado.
- Evaluación de diferentes mezclas y materiales.
- Correlación con pruebas no destructivas.

- Proveer especímenes para fines de estudio.

La norma además menciona sobre el método de varillado para la consolidación del espécimen de hormigón mediante las siguientes dos tablas:

| <b>Diámetro de los cilindros<br/>In [mm]</b> | <b>Método de<br/>consolidación</b> | <b>Número de<br/>capas</b> |
|--|------------------------------------|----------------------------|
| 3 o 4 [75 a 100]                             | Varillado                          | 2                          |
| 6 [150]                                      | Varillado                          | 3                          |
| 9 [225]                                      | Varillado                          | 4                          |
| mayores a 9 [225]                            | Vibrado                            | 2                          |

Tabla No. 3 Especificación para método de consolidación y número de capas. (Fuente: ASTM, 2007)

| <b>Diámetro del<br/>cilindro<br/>in [mm]</b> | <b>Diámetro de la<br/>varilla<br/>in [mm]</b> | <b>Número de<br/>golpes</b> |
|--|---|-----------------------------|
| 3 [75] a 6 [150]                             | 3/8 [10]                                      | 25                          |
| 6 [150]                                      | 5/8 [16]                                      | 25                          |
| 8 [200]                                      | 5/8 [16]                                      | 50                          |
| 10 [250]                                     | 5/8 [16]                                      | 75                          |

Tabla No. 4 Especificación para diámetro de varilla y número de golpes para el método de varillado. (Fuente: ASTM, 2007)

**ACI 212.3R-10: mezclas químicas para el hormigón.**

Esta norma se refiere principalmente a los tipos de aditivos que existen, sus efectos, beneficios y los materiales de los que están hechos. Dentro de estos aditivos se encuentran los descritos en la norma ASTM C494. La especificación sobre el aditivo que se utilizará para el estudio se realizará posteriormente.

**ASTM D422: clasificación de los agregados.**

Este método cubre la determinación cuantitativa de la distribución de las partículas de agregados por su tamaño. Considera que la distribución de las partículas, cuyo diámetro sea mayor a 75  $\mu\text{m}$  (retenidos del tamiz 200), debe ser realizada mediante el método de tamizado. Mientras que las que sean menores al tamaño descrito anteriormente deben realizarse utilizando el proceso de sedimentación mediante el hidrómetro.

**ASTM C494: especificación normalizada de aditivos químicos para el hormigón.**

Esta norma al igual que la norma ACI 212.3R-10, se refiere a aditivos químicos para el uso en mezclas de hormigón. La norma clasifica a los mismos en 8 tipos:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua.
- Tipo B: Aditivos retardantes.
- Tipo C: Aditivos acelerantes.
- Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardantes.
- Tipo E: Aditivos reductores de agua y acelerantes.
- Tipo F: Aditivos reductores de agua de alto rango y plastificantes.
- Tipo G: Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes.

- Tipo S: Aditivos de comportamiento específico.

La norma provee tres niveles donde deben realizarse ensayos en la utilización de estos aditivos. En primer lugar, durante la etapa de aprobación inicial; posteriormente para demostrar la continuidad de las propiedades del aditivo y finalmente para la aceptación de un lote.

**ASTM C1176-08: método estándar para cilindros de hormigón utilizando mesa vibradora.**

La norma establece un procedimiento para la realización de cilindros de hormigón, utilizando una mesa vibradora. Para su realización se debe tomar en cuenta que la práctica se centra únicamente en hormigón fresco preparado en laboratorio y en campo. Es de suma importancia recalcar que el tamaño máximo permisible de agregado para la realización de este método es de 50mm [2 in].

**ACI 234R-96: guía para el uso de humo de sílice en hormigón.**

Dicha norma introduce el concepto de humo de sílice y su naturaleza como un material cementante. Es una guía completa que explica las propiedades físicas, la composición del humo de sílice, los mecanismos en los cuales modifica la mezcla de hormigón, los efectos sobre hormigón fresco, sobre hormigón endurecido, entre otros.

**ASTM C597: método estándar para pulso de velocidad a través del hormigón.**

Esta norma presenta un método de ensayo para la propagación de ondas de velocidad a través de un cilindro de hormigón. Este método ayuda a observar la composición interna del espécimen de hormigón, como sus vacíos. De esta forma se estima su densidad interna y los posibles cambios en las propiedades del hormigón.

## **Materiales**

### **Agregados.**

Para la realización de este estudio, se han utilizado dos tipos de agregados: Piedra 8 y Arena. Los cuales provienen de la cantera de Pifo, con lo cual se ha logrado mantener uniformidad en cuanto a su granulometría y el porcentaje de absorción que tienen dichos agregados tienen. En primer lugar, se ha procedido con el estudio granulométrico.

Se ha determinado la granulometría de los agregados siguiendo las bases de la norma ASTM C 136. Dicha norma describe el procedimiento por el cual deben pasar los agregados para ser sometidos al ensayo. Para esto, tanto la piedra 8 y la arena han sido sometidos a dichos procedimientos, con el fin de asegurar que los resultados sean exactos. Se ha comenzado con el análisis granulométrico de la arena.

Para el ensayo, se ha utilizado una muestra de 1500 gramos, la misma que luego de haber sido sometida al proceso de tamizado encuentra la siguiente distribución en sus partículas:



| Tamices<br>ASTM | Abertura<br>mm | Peso<br>Retenido | %Retenido<br>Parcial | %Retenido<br>Acumulado | % Que<br>Pasa |
|-----------------|----------------|------------------|----------------------|------------------------|---------------|
| 3/8"            | 9,525          | 0,00             | 0,00                 | 0,00                   | <b>100,00</b> |
| No4             | 4,760          | 39,00            | 2,62                 | 2,62                   | <b>97,38</b>  |
| No8             | 2,380          | 327,00           | 21,93                | 24,55                  | <b>75,45</b>  |
| No16            | 1,190          | 357,00           | 23,94                | 48,49                  | <b>51,51</b>  |
| No30            | 0,590          | 284,00           | 19,05                | 67,54                  | <b>32,46</b>  |
| No 50           | 0,300          | 220,00           | 14,76                | 82,29                  | <b>17,71</b>  |
| No100           | 0,149          | 139,00           | 9,32                 | 91,62                  | <b>8,38</b>   |
| No200           | 0,074          | 78,00            | 5,23                 | 96,85                  | <b>3,15</b>   |
| <b>BASE</b>     | 47,00          | 3,15             | 100,00               | 0,00                   |               |
| <b>TOTAL</b>    | 1491,00        | 100,00           |                      |                        |               |

Tabla No. 5 Distribución Granulométrica de Arena.

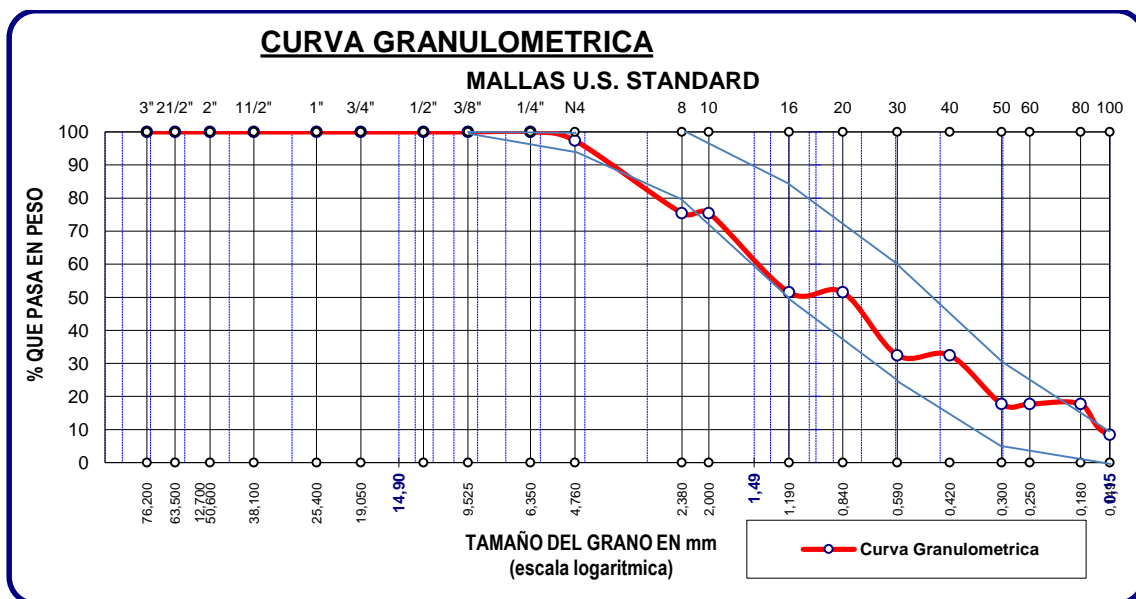


Figura No. 1 Curva Granulométrica de arena

Al momento de analizar los resultados obtenidos con los límites que presenta la norma ASTM C 33-13, se han encontrado varios resultados. Primero, en cuanto al porcentaje de agregado pasante del tamiz número 8, la arena utilizada presenta cantidades menores respecto a la especificación que la norma exige. Por otro lado, la cantidad de material pasante en el resto de tamices hasta el número 200, cumple de forma satisfactoria con la norma. Debido a esto, se puede concluir que se trata de un agregado de buena calidad, a pesar de contener un pequeño error en uno de sus requerimientos.

En el caso del agregado grueso se tiene la siguiente distribución:

| <b>Tamices</b> | <b>Abertura</b> | <b>Peso</b>     | <b>%Retenido</b> | <b>%Retenido</b> | <b>% Que</b> |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|--------------|
| <b>ASTM</b>    | <b>mm</b>       | <b>Retenido</b> | <b>Parcial</b>   | <b>Acumulado</b> | <b>Pasa</b>  |
| 3/8"           | 9,525           | 185,00          | 12,36            | 12,36            | <b>87,64</b> |
| No4            | 4,760           | 991,00          | 66,20            | 78,56            | <b>21,44</b> |
| No8            | 2,380           | 180,00          | 12,02            | 90,58            | <b>9,42</b>  |
| No16           | 1,190           | 120,00          | 8,02             | 98,60            | <b>1,40</b>  |
| No30           | 0,590           | 13,00           | 0,87             | 99,47            | <b>0,53</b>  |
| No 50          | 0,300           | 4,00            | 0,27             | 99,73            | <b>0,27</b>  |
| No100          | 0,149           | 3,00            | 0,20             | 99,93            | <b>0,07</b>  |
| No200          | 0,074           | 1,00            | 0,07             | 100,00           | <b>0,00</b>  |
| <b>BASE</b>    | 0,00            | 0,00            | 100,00           | 0,00             |              |
| <b>TOTAL</b>   | 1497,00         | 100,00          |                  |                  |              |

Tabla No. 6 Distribución Granulométrica Piedra 8.

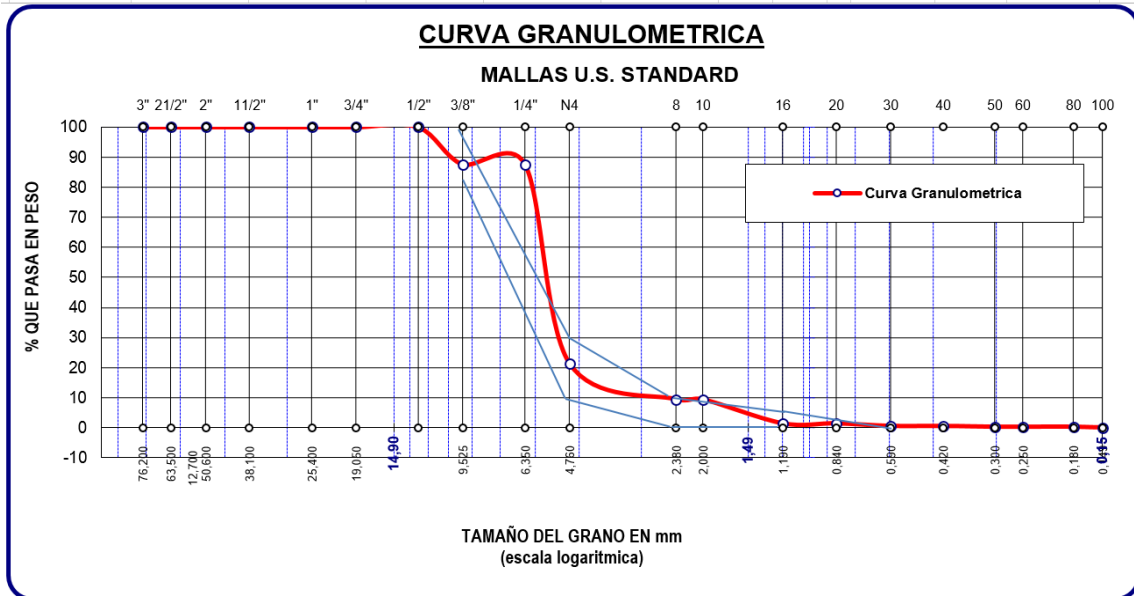


Figura No. 2 Curva Granulométrica Piedra 8

Para este caso, al analizar los resultados obtenidos y compararlos con los requerimientos de la norma, se encuentra que no se cumple con la cantidad requerida en los tamices 30, 50, 100 y 200. Al incumplirse dichos requerimientos con valores menores al 1%, no se considera un error notable. Posiblemente, estos resultados se vean reflejados en la cantidad de agua adicional que se utilizará en la mezcla. Por esta razón se califica de material de buena calidad, con una pequeña presencia de finos.

Finalmente, se presenta a continuación la granulometría de la mezcla, la cual tiene 2000 gramos de material con un 65% de piedra 8 y 35% de arena.

| <b>Tamices<br/>ASTM</b> | <b>Abertura<br/>mm</b> | <b>Peso<br/>Retenido</b> | <b>%Retenido<br/>Parcial</b> | <b>%Retenido<br/>Acumulado</b> | <b>% Que<br/>Pasa</b> |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 3/8"                    | 9,525                  | 171,00                   | 8,55                         | 8,55                           | <b>91,45</b>          |
| No4                     | 4,760                  | 859,00                   | 42,97                        | 51,53                          | <b>48,47</b>          |
| No8                     | 2,380                  | 380,00                   | 19,01                        | 70,54                          | <b>29,46</b>          |
| No16                    | 1,190                  | 223,00                   | 11,16                        | 81,69                          | <b>18,31</b>          |
| No30                    | 0,590                  | 151,00                   | 7,55                         | 89,24                          | <b>10,76</b>          |
| No 50                   | 0,300                  | 104,00                   | 5,20                         | 94,45                          | <b>5,55</b>           |
| No100                   | 0,149                  | 59,00                    | 2,95                         | 97,40                          | <b>2,60</b>           |
| No200                   | 0,074                  | 34,00                    | 1,70                         | 99,10                          | <b>0,90</b>           |
| <b>BASE</b>             | 18,00                  | 0,90                     | 100,00                       | 0,00                           |                       |
| <b>TOTAL</b>            | 1999,00                | 100,00                   |                              |                                |                       |

Tabla No. 7 Distribución Granulométrica de la mezcla de hormigón.

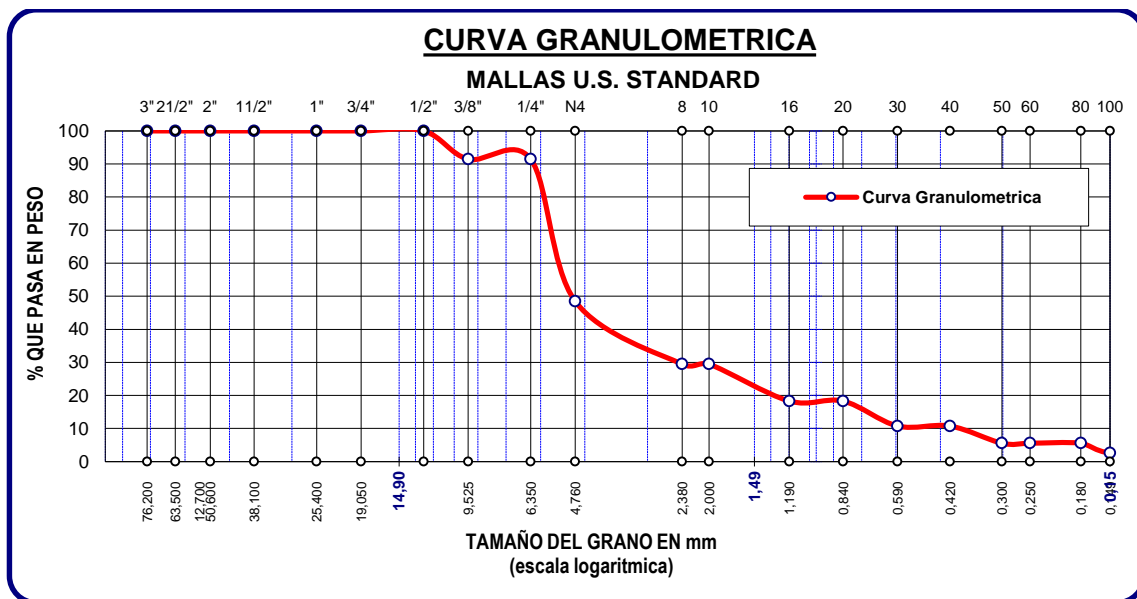


Figura No. 3 Curva Granulométrica Mezcla de Hormigón

Una vez estudiada y determinada la granulometría de los agregados, se procede a determinar la absorción que tienen los mismos. Según la norma ASTM C127-12, la absorción es el incremento de la masa del agregado debido a la penetración del agua dentro de los poros del mismo (2012).

La norma permite definir características como la densidad de los agregados y la absorción. Ambos parámetros son esenciales para posteriormente realizar el cálculo de las dosificaciones de diseño necesarias. Para el cálculo, la norma presenta las siguientes fórmulas:

*Densidad relativa OD*

$$= \frac{\text{Masa de la muestra seca}}{\text{Masa de la muestra saturada seca} - \text{Masa aparente de la muestra saturada en agua}}$$

*Densidad relativa SSD*

$$= \frac{\text{Masa de la muestra saturada seca}}{\text{Masa de la muestra saturada seca} - \text{Masa aparente de la muestra saturada en agua}}$$

*Densidad relativa aparente*

$$= \frac{\text{Masa de la muestra seca}}{\text{Masa de la muestra seca} - \text{Masa aparente de la muestra saturada en agua}}$$

*Absorción*

$$= \left( \frac{\text{Masa de la muestra saturada seca} - \text{Masa de la muestra seca}}{\text{Masa de la muestra seca}} \right) * 100$$

De esta forma, se encuentra la densidad y la absorción para los dos tipos de agregados, cuyos valores serán necesarios para calcular las dosificaciones. La importancia de estos parámetros radica en el impacto sobre otros componentes de la mezcla de hormigón, tales como el agua. Dependiendo del valor de absorción de los materiales, se determina una cantidad de agua adicional que no debe ser despreciada.

|   | <b>Agregado grueso</b>  | <b>Agregado fino</b>    |
|---|-------------------------|-------------------------|
| <b>Masa de la muestra seca</b>              | 1950 g                  | 1920 g                  |
| <b>Masa de la muestra saturada seca</b>     | 2040 g                  | 2070 g                  |
| <b>Masa aparente de la muestra saturada</b> | 1250 g                  | 1170 g                  |
| <b>Densidad relativa OD</b>                 | 2,468 g/cm <sup>3</sup> | 2,133 g/cm <sup>3</sup> |

|                                   |                         |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Densidad relativa SSD</b>      | 2,582 g/cm <sup>3</sup> | 2,300 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Densidad relativa aparente</b> | 2,786 g/cm <sup>3</sup> | 2,560 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Absorción</b>                  | 4,615 %                 | 7,812 %                 |

Tabla No. 8 Valores de absorción para agregados fino y grueso.

### **Cementantes.**

#### ***Humo de sílice.***

La ciencia ha dado pasos muy grandes en los últimos años en el campo de la Ingeniería Civil. Uno de los grandes avances ha sido la implementación de puzolanas como material cementante adicional al cemento en la mezcla de hormigón. Como menciona Jeff Girard en su documento “The use of pozzolans in concrete”, las puzolanas son materiales basados en silicatos, los cuales se reaccionan con el hidróxido de calcio que se genera de la hidratación del cemento (2011). Las ventajas que brinda el consumo de los hidratos de calcio en el cemento son varias, por ejemplo, el incremento de la resistencia a la compresión del mismo, el incremento de la densidad, y la disminución de la porosidad.

Debido a las ventajas que proporciona la utilización del humo de sílice, varias cementeras alrededor del mundo han comenzado a utilizar este material como parte del cemento que producen. Mauricio López y José Tomás Castro realizaron un estudio exhaustivo del comportamiento de las puzolanas, sus características físicas y mecánicas; dentro de sus conclusiones han encontrado que las puzolanas tienen una “acción mucho más significativa en la reducción de la permeabilidad que en el incremento en su resistencia a la compresión” (2010). Lo cual es un hecho de suma importancia para el desarrollo de este estudio, ya que si bien es cierto que, el humo de sílice tiene propiedades físicas que lo diferencian en gran

medida a las puzolanas, comparte también este comportamiento, ya que no se observarán aportes muy grandes en resistencias tardías del hormigón.

A pesar de que las puzolanas han contribuido de gran manera a mejorar el comportamiento del hormigón, ha sido desarrollado un material cementante que mejora el comportamiento del mismo. El humo de sílice es un subproducto de la incineración de carbón y cuarzo en hornos a altas temperaturas, donde las partículas gaseosas de SiO se oxidan y condensan en partículas sumamente pequeñas de (SiO<sub>2</sub>) (Neville, 2011). Como se ha mencionado previamente, el humo de sílice comparte importantes características con los compuestos puzolánicos, pero su diferencia radica en las propiedades físicas que aporta al hormigón.

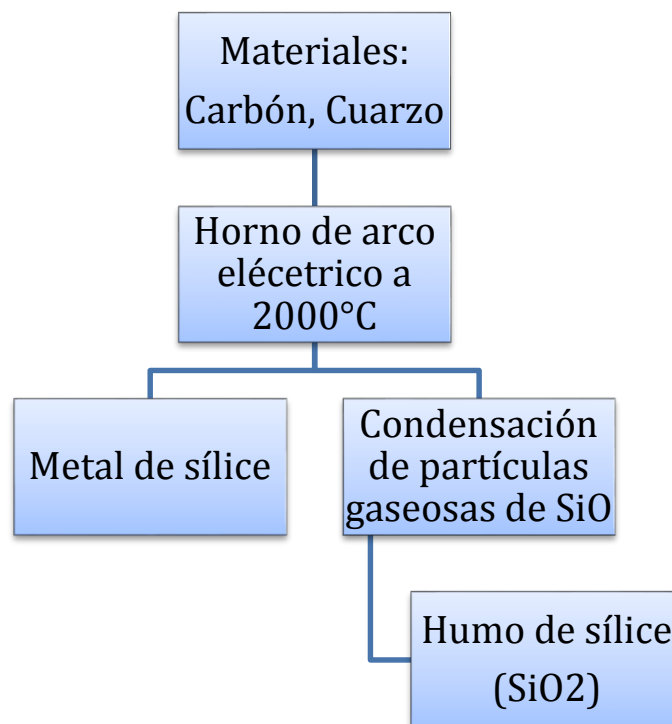


Figura No. 4 Proceso de Producción de Humo de Sílice



Las propiedades físicas son las cuales diferencian al humo de sílice del resto de compuestos puzolánicos. Según Neville, debido al tamaño de las partículas de humo de sílice, las cuales son de menor tamaño que las partículas de cemento, se relacionan directamente con la interfaz agregado-cemento, lo cual mejora y cambia en su totalidad el comportamiento del hormigón (2011). La interfaz agregado-cemento es la zona de mayor debilidad dentro de la mezcla de hormigón, debido a que muchas veces los vacíos existentes en la mezcla no permiten una correcta unión entre los componentes del hormigón. Las partículas de humo de sílice al ser más pequeñas que las partículas de cemento, se posicionan en estos espacios, desplazando las partículas de agua atrapadas en los vacíos dentro de la interfaz. De esta forma, disminuye la porosidad en la mezcla, se mejora la interfaz agregado-cemento y se disminuye la permeabilidad del hormigón.

Una vez estudiadas las propiedades que presenta el hormigón debido a la utilización de humo de sílice en la mezcla de hormigón, es necesario resaltar algunos aspectos importantes de su utilización. Debido a la cantidad de material cementante que se agrega, la mezcla de hormigón necesita una mayor cantidad de agua para completar su reacción química. Como es conocido, la resistencia a la compresión que presenta la mezcla de hormigón se encuentra fuertemente ligado a la cantidad de agua en la mezcla, por lo que se necesita disminuir la cantidad de la misma, si se desea obtener hormigones de resistencia altas. La forma de contrarrestar esta adición de agua a la mezcla es a través la utilización de aditivos.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, la utilización del humo de sílice es de suma importancia y gran utilidad en la Ingeniería Civil. Debido a esta razón, se ha decidido

estudiar su comportamiento tomando en cuenta dos criterios importantes, las recomendaciones de uso proporcionadas por el fabricante y los estudios que han realizado investigadores a través del tiempo. Adam Neville, importante investigador en el área del hormigón, menciona que al utilizarse humo de sílice en cantidades menores al 5% en peso de cementante, podría llevar a un desempeño ineficiente del material, ya que no será suficiente para cubrir la interfaz agregado-cemento. Por otro lado, al utilizar cantidades mayores al 10% en peso de cementante, sería una cantidad excesiva. Otro criterio que se debe tomar en cuenta corresponde a las especificaciones del fabricante. Para el estudio, se utilizará el humo de sílice que produce la empresa BASF, conocido como Rheomac SF100. Las especificaciones recomiendan el uso desde un 5% a un 15% del peso del cementante.

Mediante estos criterios se ha realizado el estudio, utilizando como porcentajes 1%, 2%, 5% y 10% de Humo de Sílice. De esta forma, en primer lugar, se buscará comprobar si existe concordancia entre ambos criterios sobre la utilización de este material en porcentajes inferiores al 5% y se observará cual es el rendimiento del hormigón cuando el porcentaje de humo de sílice se utilice en su máximo del 10%. A su vez, se estudiará lo que sucede cuando la mezcla no posee las cantidades de agua suficientes para el desempeño ideal de este material, con el objetivo de comprobar si el humo de sílice es un componente que necesita obligatoriamente relaciones bajas de agua-cementante.

### **Cementos Utilizados.**

#### *Holcim GU.*

El cemento Holcim GU es un cemento hidráulico compuesto fabricado para construcción en general, bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma permite que existan cementos con componentes adicionados que minimizan el impacto ambiental y tener como resultado final un uso eficiente de materias primas, reciclados y sub-productos de otros materiales.

Los cementos fabricados para uso general, por su desempeño son aptos para todo tipo de estructura donde no sean requeridas propiedades especiales.

Requisitos Físicos:

| <b>Tiempo de Fraguado</b>                      | <b>INEN 2380</b> | <b>Valor Referencial</b> |
|--|------------------|--------------------------|
| Inicial, no menos de, minutos                  | 45               | 220                      |
| Inicial, no menos de, minutos                  | 420              | 318                      |
| Contenido de aire del mortero, en volumen, %   | N/E              | 3.2                      |
| <b>Resistencia a la Compresión, mínimo MPa</b> | <b>INEN 2380</b> | <b>Valor Referencial</b> |
| 1 día  | N/E              | 9                        |
| 3 días   | 13               | 18                       |

|  |      |    |
|--|------|----|
| 7 días                                       | 20   | 23 |
| 28 días                                      | 28   | 30 |
| Expansión en Barras de mortero 14 días, %máx | 0.02 | 0  |

Tabla No. 9 Propiedades físicas cemento Holcim GU.

El cemento Holcim GU, de acuerdo con las notas técnicas del fabricante, proporciona varias ventajas en la construcción, entre ellas mejora la trabajabilidad de mezcla, reduce la segregación, calor de hidratación, y por lo tanto la tendencia a la fisuración. Además, posee buen desempeño de fraguado y resistencia, además de proporcionar resistencia química moderada frente al agua de mar. Su uso recomendado contempla varias aplicaciones, entre ellas cimentaciones, vigas, columnas, losas, pilares y obras de albañilería en general. En caso de almacenamiento, es necesario almacenarlo en ambientes ventilados, libres de humedad y de cambios bruscos de temperatura, para evitar que se humedezca y entre en proceso de fraguado. Su utilización conviene hasta dentro de 60 días desde su envasado.

#### *Cemento guapán IP.*

El cemento Portland puzolánico es aquel al que se le ha adicionado en el momento de la molienda del clinker, una cantidad de puzolana natural actica de aproximadamente 30% en peso. La producción de estos cementos se rige bajo la norma ASTM C-595; En Ecuador, la producción de estos cementos está ligada a la norma NTE INEN 490. De la misma manera, este cemento es fabricado para la construcción de obras de hormigón de uso común. La adición de puzolana tiene el objetivo de otorgar mayor viscosidad a la pasta de cemento-

arena, para así controlar la segregación de agregado grueso, tanto en el proceso de mezcla como en la posterior colocación y compactación del hormigón.

Además, el cemento puzolánico IP permite la disminución de la permeabilidad en el tiempo, debido a su reacción y a la cristalización de los compuestos cementantes. Al momento de fraguar, este tipo de cemento desprende un moderado calor de hidratación. Gracias a esta propiedad, es altamente recomendado para vaciado de grandes macizos de hormigón y para obras en zonas con gradientes térmicos altos.

En cuanto a la resistencia, este cemento incrementa la resistencia a la compresión del hormigón a través del tiempo, más que con cementos portland tipo I. Esto se debe a la reacción de sílice contenida en la puzolana con la cal que se produce durante el fraguado.

Propiedades Físicas:

| <b>Resistencia a la Compresión,<br/>MPa</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|---|---------------|---------------|
| 1 día                                       | N/A           |               |
| 3 días                                      | 13            | 19.93         |
| 7 días                                      | 20            | 22.63         |
| 28 días                                     | 25            | 34.94         |

**Tabla No. 10 Resistencia a la compresión cemento Guapán IP.**

| <b>Propiedad</b>                 | <b>INEN 490</b> | <b>Resultado</b> |
|----------------------------------|-----------------|------------------|
| Finura [cm <sup>2</sup> /g]      | N/A             | 4050             |
| Retenido en 45 um [%]            | N/A             | 3.69             |
| Expansión en autoclave [%]       | 0.8 máx.        |                  |
| Contracción en autoclave [%]     | 0.2 máx.        | 0.006165         |
| Fraguado inicial [minutos]       | 45-420          | 154.2            |
| Fraguado final [minutos]         | N/A             |                  |
| Contenido de aire en mortero [%] | 12 máx.         | 3.87             |

**Tabla No. 11 Propiedades físicas cemento Guapan IP.**

*Cemento selva alegre plus.*

De igual forma que el cemento Guapan IP, el cemento Selva Alegre Plus es de clase IP, es decir es Portland puzolánico. Se utiliza frecuentemente en obras estructurales y construcciones comunes de hormigón. Se rige de igual forma bajo la norma NTE INEN 490.

Propiedades Físicas:

| <b>Resistencia a la Compresión,<br/>Días</b> | <b>MPa</b> |
|--|------------|
| 3 días                                       | 17         |
| 7 días                                       | 22         |
| 28 días                                      | 35         |

Tabla No. 12 Resistencia a la compresión cemento Selva Alegre Plus.

### **Aditivos.**

Los aditivos han formado parte de un sin número de soluciones para problemas ingenieriles en la actualidad. El mundo presenta un gran número de situaciones diferentes a años anteriores, ya sean topográficos, climáticos, estructurales o arquitectónicos. Ante esto, la ingeniería debe adaptarse y presentar nuevas soluciones que ayuden a resolver estos nuevos retos. Es en base a esta necesidad que han sido creados los aditivos para el hormigón.

Neville menciona algunas de las ventajas que presenta la utilización de aditivos en la mezcla de hormigón. La primera gran ventaja es la posibilidad de hacer proyectos civiles en lugares donde anteriormente los problemas constructivos eran demasiado grandes, al punto de hacer imposibles de construir algunas obras. La segunda gran ventaja es la posibilidad de la utilización de otros materiales en la mezcla, como por ejemplo el humo de sílice (2010). Debido a estas razones, la utilización de los aditivos en la construcción ha tenido un

importante apogeo, y a pesar de su costo adicional, es altamente recomendable la utilización de los mismos.

La norma ASTM C 494-10 divide a los aditivos para el hormigón en 8 grupos:

- Tipo A: Reductores de agua.
- Tipo B: Retardantes.
- Tipo C: Acelerantes.
- Tipo D: Reductores de agua y retardantes.
- Tipo E: Reductores de agua y acelerantes.
- Tipo F: Reductores de agua de alto rango y plastificante.
- Tipo G: Reductores de agua de alto rango y retardantes, o súper plastificante y retardante.

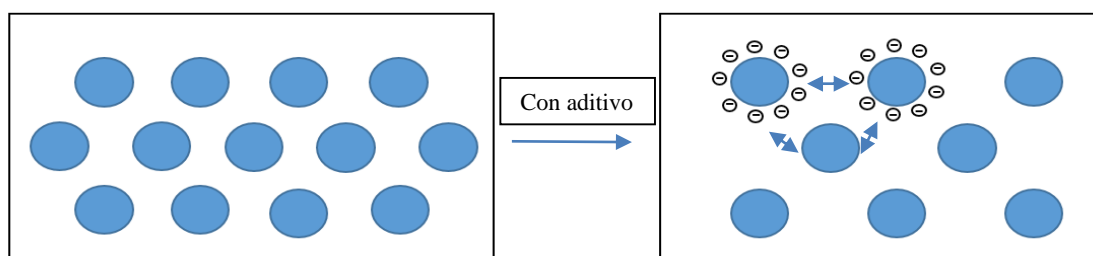
Para este estudio, se han utilizado únicamente los aditivos de tipo F, reductores de agua de alto rango y plastificantes. Existen dos razones principales por las cuales se ha decidido utilizar este tipo de aditivo: La primera se basa en las necesidades que tiene el humo de sílice para su eficiente desempeño y la segunda es debido a la manejabilidad que da a la mezcla.

Los aditivos tipo F como se mencionó anteriormente tienen dos características importantes, la primera es su naturaleza reductora de agua y la segunda es la súper plasticidad que da a la mezcla. La característica reductora de agua como su nombre lo indica, ayuda a disminuir la relación agua cementante en la mezcla. Esto es de gran utilidad cuando



se desea lograr hormigones de resistencias medianas y altas, ya que la resistencia a la compresión del hormigón se encuentra fuertemente ligada a la cantidad de agua en la mezcla del mismo. La segunda característica importante que tiene el aditivo tipo F en la mezcla es la de súper plasticidad. Cuando se trabaja con hormigones de mediana y alta resistencia, la trabajabilidad de la mezcla se vuelve casi nula. Esto se debe totalmente a la baja relación de agua-cementante que tiene la mezcla, lo cual no es deseable para cualquier obra. Por esta razón, se utiliza el plastificante, que hace que a pesar de que la cantidad de agua sea baja, se incremente la trabajabilidad del hormigón. En conclusión, es un aditivo de altas prestaciones, el cual ha sido usado en gran medida ya que soluciona problemas de suma importancia en obra.

Como se ha podido constatar, es un componente que ha ganado importancia gracias a su comportamiento y prestaciones. Lo que sucede físicamente, es que las largas partículas de súper plastificante se posicionan alrededor de las partículas de cemento. Posteriormente, generan una carga negativa muy fuerte a las partículas de cemento, lo que ocasiona que las éstas se repelan entre sí.



**Figura No. 5 Comportamiento de partículas de cemento en presencia de aditivo tipo F.**

Una vez entendido el comportamiento de los aditivos súper plastificantes reductores de agua, se ha decidido utilizar dos tipos de aditivos para el estudio. El primer aditivo es Rheobuild 1000, producido por la compañía química Basf. El segundo aditivo elegido fue Sikament N 100 de la compañía Sika. Ambos plastificantes cumplen con los requisitos prescritos en la norma ASTM C494 correspondientes a aditivos de tipo F.

En primer lugar, es necesario mencionar algunas características importantes del aditivo Rheobuild 1000. Es un aditivo súper plastificante reductor de agua, el cual se sugiere utilizar en obras de hormigón pretensado, obras con elevadas prestaciones, tales como hormigón proyectado y hormigonado en túneles (BASF, 2010). La compañía fabricante sugiere que se adicione con la última cantidad de agua de la mezcla, no sobre los materiales secos.

Referente al aditivo Sikament N 100, se tienen algunas diferencias menores. Al igual que el Rheobuild, es un aditivo súper plastificante reductor de agua, sugerido para prefabricados, obras de altas prestaciones, entre otras. (Sika, 2012). A diferencia del primer aditivo, el fabricante sugiere su utilización posterior a haber finalizado la mezcla de hormigón.

| <b>Propiedades</b> | <b>Aditivo</b>                          |   |
|--------------------|---|---|
|                    | <b>Rheobuild 1000</b>                   | <b>Sikament N100</b>                    |
| Función Principal  | Súper plastificante<br>Reductor de agua | Súper plastificante<br>Reductor de agua |
| Función Secundaria | Acelerador de                           | Economizador de cemento                 |

|                       |                               |   |
|-----------------------|-------------------------------|---|
|                       | endurecimiento                |   |
| Aspecto físico        | Líquido color marrón          | Líquido color marrón  |
| Densidad              | $1.2 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ | $1.2 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$                                 |
| Contenido de cloruros | <0.1 %                        | No contiene   |
| Dosificación sugerida | 0,8% al 2% sobre peso cemento | 0.5% al 1% sobre el peso del cemento como súper plastificante |
|                       |                               | 1% al 3% sobre el peso del cemento como reductor de agua      |

Tabla No. 13 Propiedades de aditivos Rheobuild 1000 y Sika N-100.

En la tabla anterior, se muestran algunos datos técnicos obtenidos de las especificaciones técnicas de ambos aditivos. Para el estudio, se ha decidido utilizar los dos aditivos bajo las siguientes dosificaciones: 1% y 2%. De esta forma se puede estudiar si existe una diferencia grande en el caso del Rheobuild, y en el caso del Sikament N100 si existe la diferencia entre utilizarlo como súper plastificante y como reductor de agua.

## Cálculo de dosificaciones

Una vez realizada la granulometría para agregados tanto fino como grueso, se procede con el cálculo de dosificaciones. En primer lugar, se procede a definir el porcentaje que se utilizará de piedra 8 y de arena.

$$Piedra\ 8 = 65\%$$

$$Arena = 35\%$$

Estos porcentajes fueron elegidos con el objetivo de obtener hormigón de uso común. Posteriormente, se determinó el porcentaje de agua cementante inicial, la relación agregado cemento y el porcentaje de aire atrapado.

$$Porcentaje\ de\ \frac{agua}{cimentante} = 0.3$$

$$\frac{Agregado}{cemento} = 3.2$$

$$Aire\ atrapado = 1.5\%$$

Se debe tomar en cuenta que, para el caso del porcentaje de agua/cementante, se trata de un valor inicial, el cual con certeza variará al final de realizar la dosificación. Finalmente, para empezar el cálculo iterativo de la cantidad de cemento necesaria para lograr la dosificación deseada, se ha decidido colocar un valor a la cantidad de cemento inicial, la cual será de 8000 gramos. Una vez elegida esta cantidad inicial, se procede a realizar el siguiente cálculo:

Cálculo de humo de sílice, agua y aditivo súper plastificante:

$$Cant. Humo de Sílice = (\% \text{ humo de sílice}) * Cant. Cemento$$

$$Cant. Agua inicial = Cant. Cemento * \% \text{ de } \frac{\text{agua}}{\text{cementante}}$$

$$Vol. Aditivo súper plastificante = Cant. de cemento * (\% \text{ aditivo})$$

$$Cant. Adt. súper plastificante$$

$$= Vol. Adt. súper plastificante * dens. Adt. súperplastificant$$

Posteriormente, se calcula la cantidad de piedra 8 y arena:

$$Cant. Piedra 8 = Cant. de cemento * \frac{\text{Agregado}}{\text{cemento}} * \% \text{ Piedra 8}$$

$$Cant. Arena = Cant. Cemento * \frac{\text{Agregado}}{\text{cemento}} * \% \text{ Arena}$$

Es necesario tomar en cuenta, que los agregados tienen un porcentaje de absorción importante que ya se ha calculado con anterioridad. Por esta razón, es necesario adicionar esta cantidad de agua, de manera que no afecte la dosificación.

$$Agua necesaria para piedra 8 = Cant. Piedra 8 * \% \text{ absorcion de Piedra 8}$$

$$\text{Agua necesaria para Arena} = \text{Cant. Arena} * \% \text{ absorcion de Arena}$$

Finalmente, para terminar con el cálculo de agua necesaria para la mezcla se necesita calcular el agua presente en el aditivo. Para esto se considera que el mismo tiene un 70% de agua, donde:

$$\text{Agua en aditivo súper plastificante} = \text{Cant. Aditivo} * \% \text{ agua en aditivo}$$

De esta forma, la cantidad final de agua necesaria para la mezcla se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{Agua necesaria para la mezcla} \\ & = \text{Cantidad de agua inicial} + \text{Agua necesaria para piedra 8} \\ & + \text{Agua necesaria para Arena} - \text{Agua en aditivo súper plastificante} \end{aligned}$$

Una vez encontrada la cantidad de agua real para la mezcla, es posible determinar los volúmenes de cada uno de los componentes de la mezcla de la siguiente forma:

$$\text{Vol. Piedra 8} = \text{Cant. Piedra 8} * \left[ \frac{(1 + \% \text{ absorción Piedra 8})}{\text{Densidad de Piedra 8}} \right]$$

$$\text{Vol. Arena} = \text{Cant. Arena} * \left[ \frac{(1 + \% \text{ absorción de Arena})}{\text{Densidad de Arena}} \right]$$

$$\text{Vol. de Cemento} = \frac{\text{Cant. de Cemento}}{\text{Densidad de Cemento}}$$

$$\text{Vol. Humo de sílice} = \frac{\text{Cant. Humo de sílice}}{\text{Densidad del humo de sílice}}$$

$$\text{Volumen de Agua} = \frac{\text{Agua necesaria para la mezcla}}{\text{Densidad del agua}}$$

*Vol. Teórico*

$$= \text{Vol. Piedra} + \text{Vol. Arena} + \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Humo de sílice} + \text{Vol. Agua} \\ + \text{Vol. Aditivo}$$

$$\text{Vol. Real (aire atrapado)} = \text{Vol. Teórico} + \left( \text{Vol. Teórico} * \frac{\text{Aire atrapado}}{100} \right)$$

De esta forma, se calcula la dosificación final. Es necesario tener en cuenta que el volumen real tiene que ser mayor al volumen necesario para elaborar los cilindros de hormigón, ya que siempre existe un incremento debido a varios factores, como la energía de compactación.

Finalmente, se encuentra la dosificación para cada una de las combinaciones que se han determinado tanto de humo de sílice como de aditivo para el estudio. Dichas dosificaciones se encuentran en sección de anexos.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Para el estudio de la tesis se han definido dos pilares fundamentales. El primero es la observación del comportamiento de los cementos ecuatorianos fijando la cantidad de aditivo y variando los porcentajes de humo de sílice. Con esto se busca determinar el porcentaje de humo de sílice apropiado para lograr el mejor desempeño bajo una misma cantidad de aditivo. Luego se fijará la cantidad de humo de sílice y se realizarán variaciones en el porcentaje de aditivo, buscando determinar la cantidad de aditivo que es necesaria para que una mezcla con diferentes contenidos de humo de sílice encuentre su máximo desarrollo. De esta forma se han determinado 48 mezclas a realizar que se muestran a continuación:

|                        | <b>Cemento</b> | <b>Aditivo</b> | <b>Porcentaje</b> | <b>Humo de sílice</b> |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| <b>Dosificación 1</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 0%                    |
| <b>Dosificación 2</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 2%                    |
| <b>Dosificación 3</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 5%                    |
| <b>Dosificación 4</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 10%                   |
| <b>Dosificación 5</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 0%                    |
| <b>Dosificación 6</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 2%                    |
| <b>Dosificación 7</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 5%                    |
| <b>Dosificación 8</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 10%                   |
| <b>Dosificación 9</b>  | Holcim GU      | Sikament N100  | 1%                | 0%                    |
| <b>Dosificación 10</b> | Holcim GU      | Sikament N100  | 1%                | 2%                    |



|                        |                 |                |    |     |
|------------------------|-----------------|----------------|----|-----|
| <b>Dosificación 11</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 1% | 5%  |
| <b>Dosificación 12</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 1% | 10% |
| <b>Dosificación 13</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 0%  |
| <b>Dosificación 14</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 2%  |
| <b>Dosificación 15</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 5%  |
| <b>Dosificación 16</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 10% |
| <b>Dosificación 17</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 0%  |
| <b>Dosificación 18</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 2%  |
| <b>Dosificación 19</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 5%  |
| <b>Dosificación 20</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 10% |
| <b>Dosificación 21</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 0%  |
| <b>Dosificación 22</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 2%  |
| <b>Dosificación 23</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 5%  |
| <b>Dosificación 24</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 10% |
| <b>Dosificación 25</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 0%  |
| <b>Dosificación 26</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 2%  |
| <b>Dosificación 27</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 5%  |
| <b>Dosificación 28</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 10% |
| <b>Dosificación 29</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 0%  |
| <b>Dosificación 30</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 2%  |
| <b>Dosificación 31</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 5%  |
| <b>Dosificación 32</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 10% |
| <b>Dosificación 33</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 0%  |

|                        |                 |                |    |     |
|------------------------|-----------------|----------------|----|-----|
| <b>Dosificación 34</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 2%  |
| <b>Dosificación 35</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 5%  |
| <b>Dosificación 36</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 10% |
| <b>Dosificación 37</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 0%  |
| <b>Dosificación 38</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 2%  |
| <b>Dosificación 39</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 5%  |
| <b>Dosificación 40</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 10% |
| <b>Dosificación 41</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 0%  |
| <b>Dosificación 42</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 2%  |
| <b>Dosificación 43</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 5%  |
| <b>Dosificación 44</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 10% |
| <b>Dosificación 45</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 0%  |
| <b>Dosificación 46</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 2%  |
| <b>Dosificación 47</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 5%  |
| <b>Dosificación 48</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 10% |

**Tabla No. 14** Tabla de dosificaciones elaboradas.

Datos:

|                           |      |
|---------------------------|------|
| <b>Piedra 8</b>           | 65%  |
| <b>Arena</b>              | 35%  |
| <b>Porcentaje w/c</b>     | 0,3% |
| <b>Agg/cemento</b>        | 3,2  |
| <b>Cementantes</b>        | 100% |
| <b>%Cemento</b>           | 100% |
| <b>% Sílice</b>           | 0%   |
| <b>% Aditivo</b>          | 1%   |
| <b>%Aire atrapado</b>     | 1.5% |
| <b>%Agua en Rheobuild</b> | 70%  |

Tabla No. 15 Datos de agregados, cementantes y aditivo.

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| <b>%n P8</b>              | 4%                     |
| <b>%n arena</b>           | 4%                     |
| <b>Densidad P8</b>        | 2,78 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Densidad Arena</b>     | 2,56 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Densidad Holcim</b>    | 2,94 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Densidad IP</b>        | 3,15 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Densidad SF</b>        | 1,7 g/cm <sup>3</sup>  |
| <b>Densidad Rheobuild</b> | 1,19 g/cm <sup>3</sup> |

Tabla No. 16 Datos de absorción y densidades.

Para la dosificación se ha escogido comenzar con una cantidad de cemento de 8000 gramos.

Con lo cual se asegura que se logrará conseguir las 9 muestras de cilindros para ensayar.

Cálculo de cantidades de Humo de sílice, súper plastificante, piedra 8 y arena:

$$\text{Cant. Humo de Sílice} = 0\% * 8000 \text{ gr} = 0 \text{ gr}$$

$$\text{Cant. Agua inicial} = 8000 \text{ gr} * 0.3\% = 2400 \text{ gr de agua}$$

$$\text{Vol. Aditivo súper plastificante} = 8000 \text{ gr} * 1\% = 80 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cant. Aditivo súper plastificante} = 80 \text{ cm}^3 * 1.19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 95.2 \text{ gr Admx}$$

$$\text{Cant. Piedra 8} = 8000 \text{ gr} * 3.2 * 65\% = 16640 \text{ gr Piedra 8}$$

$$\text{Cant. Arena} = 8000 \text{ gr} * 3.2 * 35\% = 8960 \text{ gr Arena}$$

Cálculo del agua necesaria por la piedra 8, arena y Rheobuild:

$$\text{Agua necesaria para piedra 8} = 16640 \text{ gr Piedra 8} * 4\% \text{ absorción} = 665.6 \text{ gr agua}$$

$$\text{Agua necesaria para Arena} = 8960 \text{ gr Arena} * 4\% \text{ absorción} = 358.4 \text{ gr agua}$$

$$\text{Agua en aditivo súper plastificante} = 80 \text{ cm}^3 \text{ Admx} * 70\% = 56 \text{ cm}^3$$

Cálculo del agua en la mezcla:

*Agua necesaria para la mezcla*

$$\begin{aligned}
 &= 2400 \text{ gr de agua} + 665.6 \text{ gr agua} + 358.4 \text{ gr agua} - 56 \text{ gr agua} \\
 &+ \text{Agua extra de mezcla} = 3368 \text{ gr de agua} + 100 \text{ gr de agua extra de mezcla} \\
 &= 3468 \text{ gr de agua}
 \end{aligned}$$

En el cálculo del agua en la mezcla se tiene que añadir la cantidad de agua extra que se coloca al momento de mezclar los elementos en la mezcladora. Esta cantidad debe ser colocada con mucho cuidado, ya que puede alterar la mezcla grandemente.

Ahora se debe encontrar los volúmenes de mezcla:

$$\text{Vol. Piedra 8} = 16640 \text{ gr Piedra 8} * \left[ \frac{(1 + 4\%)}{2,78 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \right] = 6212.267 \text{ cm}^3$$

$$\text{Vol. Arena} = 8960 \text{ gr Arena} * \left[ \frac{(1 + 4\%)}{2,56 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \right] = 3640 \text{ cm}^3$$

$$\text{Vol. de Cemento} = \frac{8000 \text{ gr Cemento}}{2.94 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 2721.08 \text{ cm}^3$$

$$\text{Vol. Humo de sílice} = \frac{0 \text{ gr Humo se Sílice}}{1.7 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \text{ Humo de Sílice}} = 0 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen de Agua} = \frac{3468 \text{ gr de agua}}{1 \text{ g/cm}^3} = 3468 \text{ cm}^3 \text{ agua}$$

*Vol. Teórico*

$$= 6212.267 \text{ cm}^3 + 3640 \text{ cm}^3 + 2721.08 \text{ cm}^3 + 0 \text{ cm}^3 + 3468 \text{ cm}^3 \text{ agua} + 80 \text{ cm}^3$$

$$= 16121.36 \text{ cm}^3$$

$$\text{Vol. Real (aire atrapado)} = 16121.36 \text{ cm}^3 + \left( 16121.36 \text{ cm}^3 * \frac{1.5}{100} \right) = 16363.18 \text{ cm}^3$$

Finalmente, se debe encontrar la dosificación para un metro cúbico de mezcla, luego de lo cual se encuentran las siguientes cantidades:

|                      |      |   |
|----------------------|------|---|
| <b>P8</b>            | ,380 | 3 |
| <b>Arena</b>         | ,222 | 3 |
| <b>Agua</b>          | ,212 | 3 |
| <b>Cemento</b>       | ,166 | 3 |
| <b>Admx</b>          | ,005 | 3 |
| <b>SF</b>            | ,000 | 3 |
| <b>Aire atrapado</b> | ,015 | 3 |

|              |      |   |
|--------------|------|---|
| <b>Total</b> | ,000 | 3 |
|--------------|------|---|

Tabla No. 17 Dosificación para 1 metro cúbico de mezcla.

Una vez que se han encontrado las dosificaciones respectivas se procede a realizar el proceso de fundición, recolección de muestras, curado y finalmente se procederá a realizar las pruebas de resistencia de cada una de las muestras a 3, 7 y 28 días de edad.

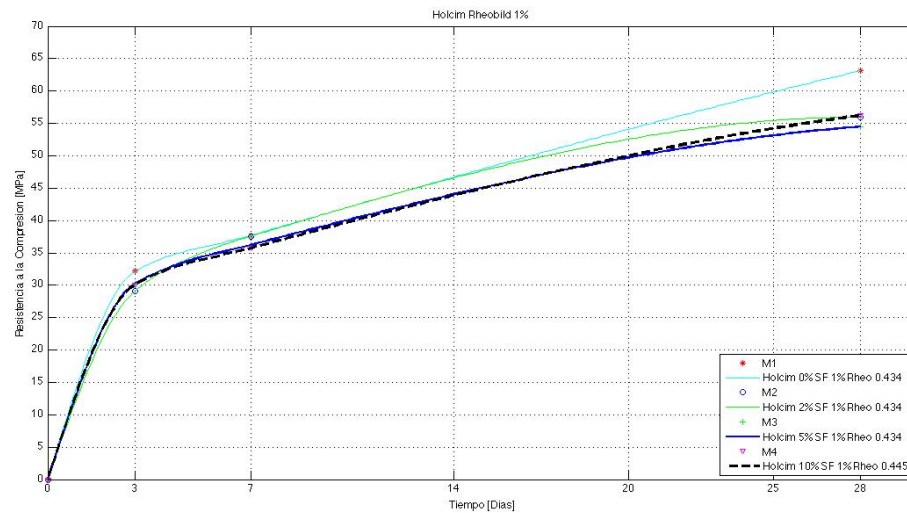
Todos estos procesos fueron realizados siguiendo las normas ASTM específicas. Luego de lo cual se han encontrado resultados que se presentarán de la siguiente forma. Primero se estudiará el comportamiento de cada uno de los cementos que han sido definidos con anterioridad. Dentro de los cuales se fijarán variables de forma que se pueda encontrarse relaciones en base al aditivo súper plastificante y al humo de sílice. Luego de realizar esto se observará el comportamiento global de los mismos y finalmente se compararán los resultados obtenidos entre cada uno de los cementos.

## Análisis de resultados

### Cemento Holcim.

**Variación de Contenido de Humo de Sílice, manteniendo tipo de aditivo y porcentaje constante.**

*Holcim – 1% Rheobuild*



**Figura No. 6 Holcim 1% Rheobuild**

En primer lugar, lo que se puede notar en el gráfico es que los 4 ensayos tienen relaciones agua-cementante más o menos iguales, los cuales rondan entre 0.43 y 0.44, por lo que se puede despreciar esta variable para este caso. Entonces el análisis se centrará con la variación de humo de sílice.

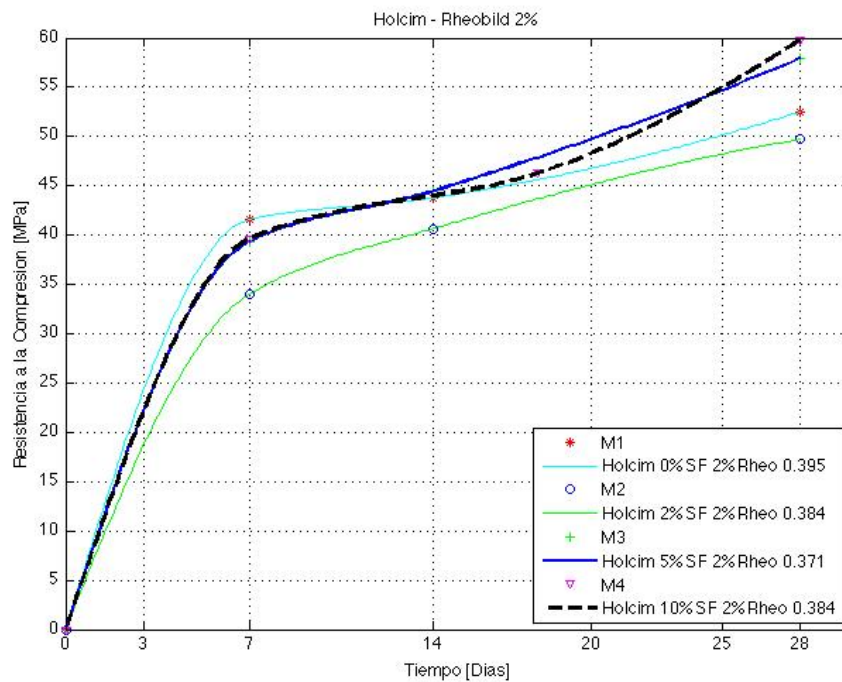
El ensayo realizado sin utilizar humo de sílice, muestra la mayor resistencia a los 28 días, seguido de las dosificaciones con 2% y 10% de este material. Las más bajas prestaciones a los 28 días se obtuvieron utilizando 5% de humo de sílice, pues la resistencia a la compresión está por debajo de los 55 MPa.



Sin embargo, se puede ver que en resistencias tempranas no existe una diferencia apreciable entre las cuatro dosificaciones. La pendiente es casi la misma para los cuatro casos y a los 3 días las resistencias a la compresión están entre los 30 y 35 MPa. De igual manera, a los 7 días no se puede apreciar mayor diferencia, debido a que la resistencia a la compresión en las 4 dosificaciones redondea los 35 y 38 MPa.

Al no utilizar humo de sílice, la primera dosificación tiene a hacerse más manejable y al reducir la cantidad de agua utilizada, brinda mayores prestaciones, razón por la cual es la dosificación con mejores resultados. Se puede decir también que el humo de sílice no aporta mucho debido a que no se aprecian aumentos de resistencia a medida que se incrementa el porcentaje la misma. Esto se concluye debido a que a los 28 días la resistencia a la compresión con los porcentajes de 2%, 5% y 10% de humo de sílice no tienen variaciones considerables entre sí.

### Holcim – 2% Rheobuild



**Figura No. 7 Holcim - 2% Rheobuild**

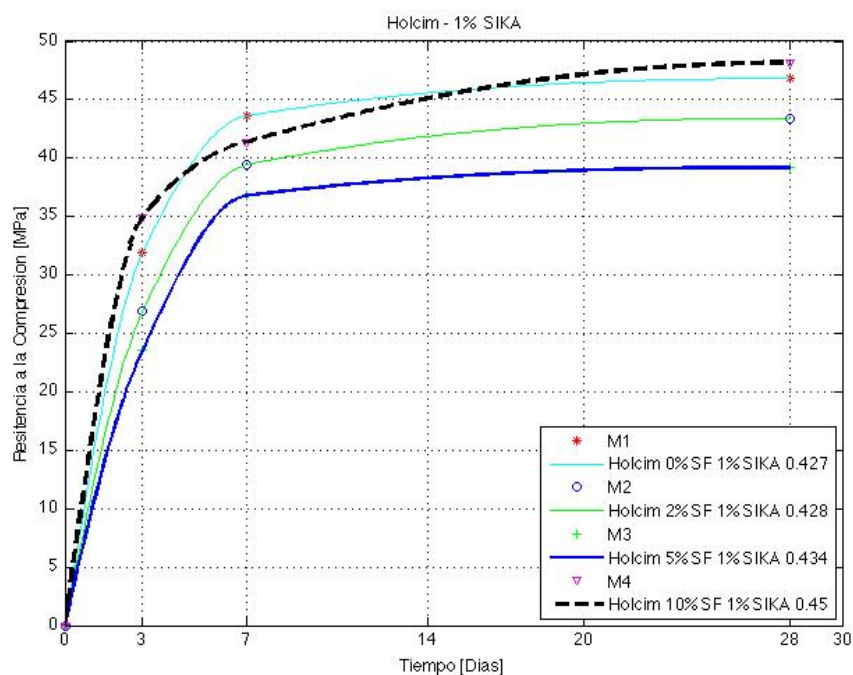
Al utilizar 2% del aditivo Rheobuild 1000, se pueden apreciar varias diferencias con respecto a utilizar 1% del aditivo. En primer lugar se puede apreciar que ya existen diferencias apreciables respecto a resistencias tempranas. A los tres días, al igual que al utilizar 1% de aditivo, la mezcla sin contenido de humo de sílice es la que tiene mayor resistencia, en este caso de 25 MPa. Las curvas para 5% y 10% no muestran diferencia de resistencia a los 3 días y tampoco a los 7. La curva con menor pendiente pertenece a la mezcla con 2% de contenido de humo de sílice, la cual tiene menor resistencia temprana como resistencia final a los 28 días.

En cuanto a resistencia a la compresión a los 28 días, las dosificaciones con 5% y 10% son las que han alcanzado las mayores resistencias a la compresión, las cuales se encuentran

entre 55 y 60 MPa. En el caso de la mezcla sin contenido de humo de sílice, esta muestra mejores resultados en cuanto a resistencias tempranas, no obstante, la pendiente es menos pronunciada a partir de los 7 días y su resistencia final se encuentra alrededor de los 53 MPa.

El aumento de resistencia en las mezclas con mayor contenido de humo de sílice, se debe principalmente al efecto del aditivo con su dosificación máxima, ya que de esta forma actúa como reductor de agua, y así reducir el coeficiente de agua-cementante, por lo que se obtienen mejores resultados.

### *Holcim – 1% Sika*



**Figura No. 8 Holcim - 1% Sika.**

Al utilizar 1% de aditivo, se pueden ver varias cosas en las distintas mezclas de hormigón. Se puede apreciar que el mayor incremento de resistencias tempranas se produce en los dos extremos, estos son al utilizar 10% de contenido de humo de sílice y sin utilizarlo en la mezcla, pues se obtienen resistencias a los tres días entre 30 y 35 MPa. Para los casos intermedios, es decir con 2% y 5% de humo de sílice, la resistencia obtenida a los tres días es apreciablemente más baja, pues están entre 23 y 26 MPa.

De igual manera, la resistencia a los 7 días es notablemente mayor para las mezclas que no contienen humo de sílice y 10% de este cementante. Se puede apreciar un crecimiento de aproximadamente 10 MPa para cada caso, lo que representaría un aumento del aproximadamente el 25% para el caso sin contenido de humo de sílice y de 15% para la mezcla que contiene 10% de humo de sílice. Con base a estos resultados se puede decir, que el aditivo cumple su función como reductor de agua en la mezcla con 0% porque presenta una relación agua-cementante de 0.427, con respecto a la mezcla con 10% cuya relación es de 0.45, pero que tiene mayor resistencia a los 28 días. No obstante, esta diferencia entre resistencias finales no es significativa, pues es casi del 5%. Por lo que se puede decir que hay mayor eficiencia al utilizar una mezcla de hormigón con aditivo Sika al 1%, sin contenido de humo de sílice.

Para los casos que contienen 2% y 5% de humo de sílice, se puede apreciar que el aumento de resistencia a la compresión desde los 7 hasta los 28 días no es significativo, pues la pendiente de la curva no es alta y se obtiene aumentos de alrededor del 5 al 10%. Lo cual es significativamente menor con respecto al incremento de la resistencia en los otros casos

## Holcim – Sika 2%

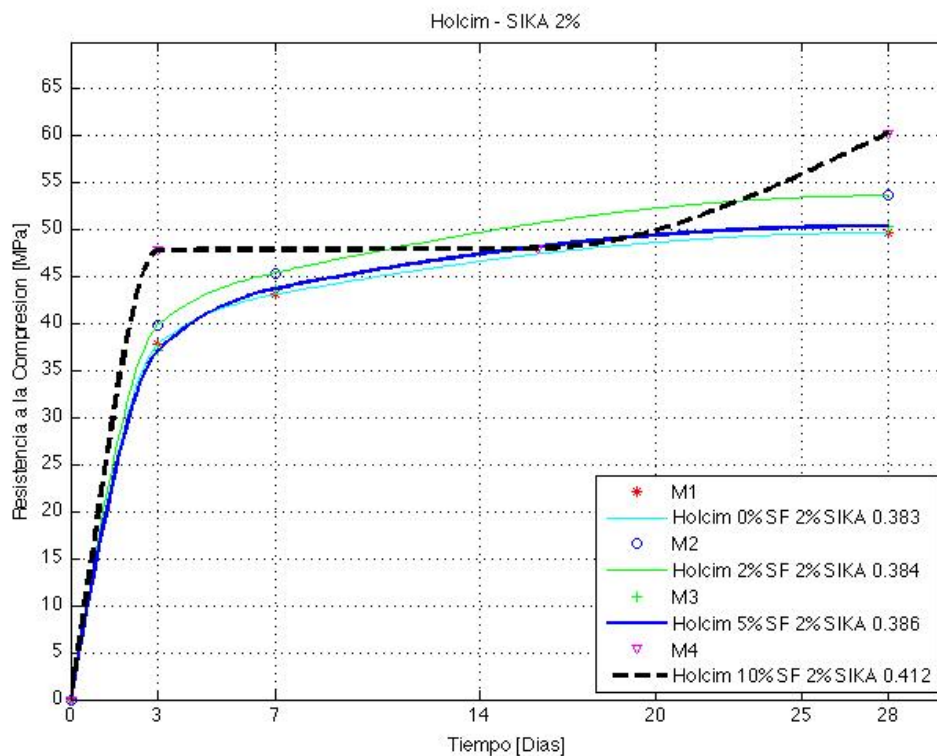


Figura No. 9 Holcim - 2% Sika.

Respecto a la utilización del 1% de aditivo, se pueden notar varias diferencias al analizar las mezclas de hormigón con el 2% de aditivo Sika. Se puede apreciar por ejemplo que las pendientes de las curvas de mezcla con 0%, 2% y 5% de humo de sílice son prácticamente iguales o presentan pequeñas variaciones entre 0 y 3, y 3 y 7 días. Con relaciones agua-cementante muy cercanas, estas curvas muestran resistencias tempranas para dichos porcentajes entre 35 y 40 MPa. Mientras que a los 7 días alcanzan entre 43 y 45 MPa, siendo la mezcla con 2% de humo de sílice la que mayor resistencia a la compresión alcanza a esta edad. Se puede decir además que las curvas con 0% y 5% de humo de sílice muestran un comportamiento casi igual, debido a que existen ligeras variaciones y casi están superpuestas entre ellas. Esto se puede apreciar a los 28 días, edad en el cual las dos

dosificaciones alcanzan valores de 50 MPa, los valores más bajos al utilizar 2% de este tipo de aditivo.

Se puede apreciar entonces, que el mejor desempeño para hormigón con este aditivo se logra adicionando el 10% de contenido de humo de Sílice, esto se debe a que presenta los resultados más óptimos en cuanto a resistencias tempranas como resistencia final. La pendiente existente entre 0 y 3 días es más pronunciada que la de las otras mezclas, razón por la cual supera en resistencia temprana a las demás. Además, la resistencia final es de 60 MPa, a pesar de tener una relación agua-cementante mayor, de 0.41. Este se puede deber a que a la utilización del aditivo, que actúa como reductor de agua y a pesar de tener una relación a/c mayor, genera mejores resultados.

### Variación de Aditivos, manteniendo constante el porcentaje de Humo de Sílice.

#### Holcim 1% Humo de Sílice – 1% y 2% Rheobuild y Sika

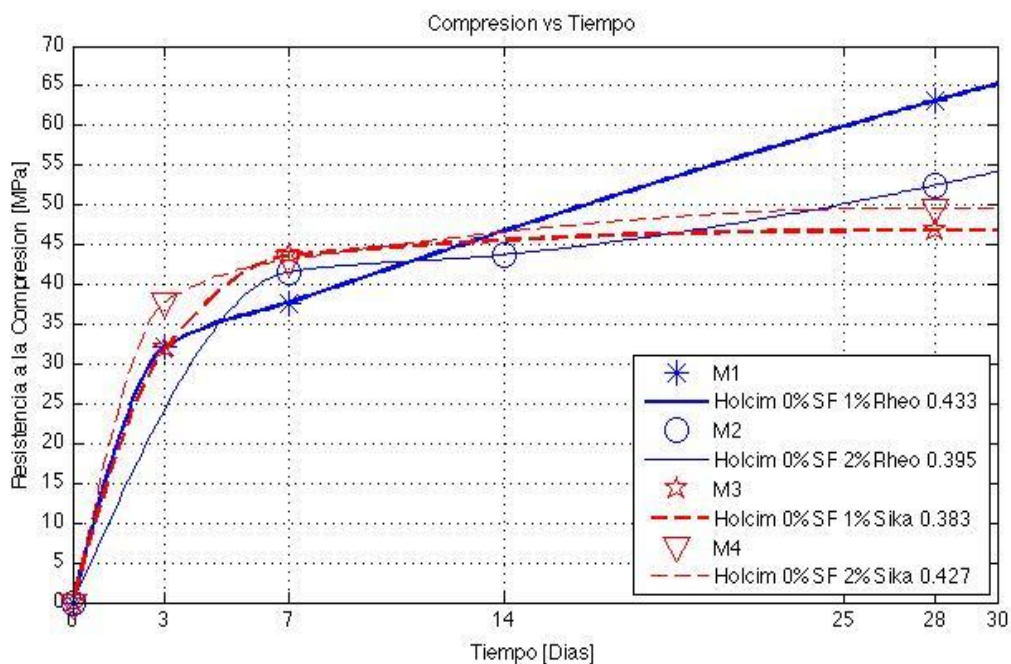


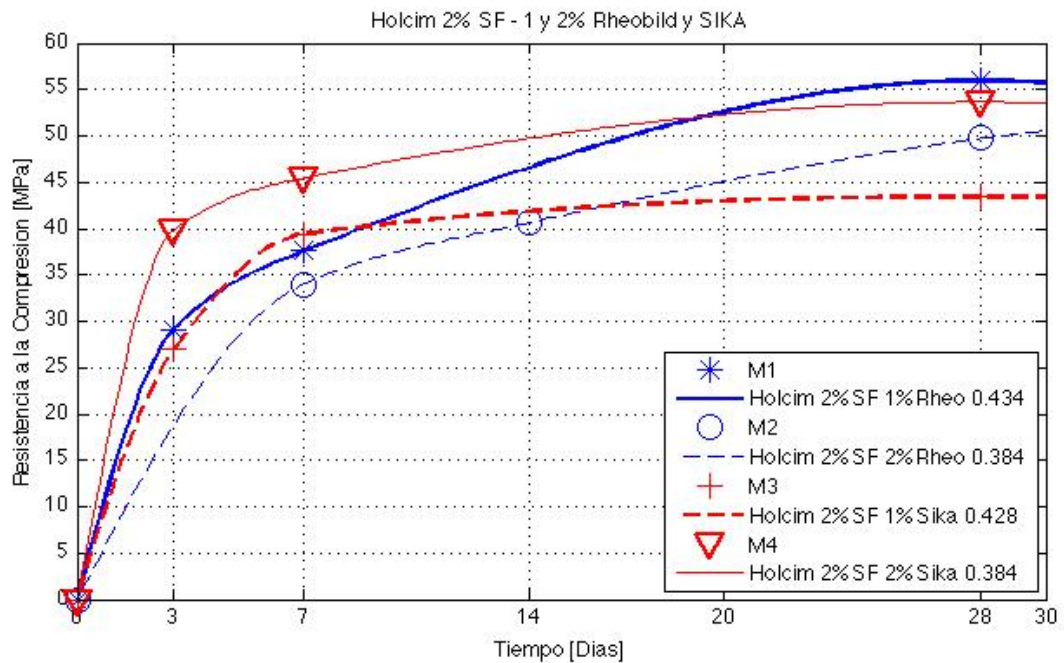
Figura No. 10 Holcim 0% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.

En el caso de las dosificaciones elaboradas con Rheobuild, se puede apreciar cierta diferencia en los valores de la relación agua-cementante, que es de cuatro por ciento respecto a 1% de aditivo, que es la que tiene mayor valor. Esto se puede explicar mediante la función del aditivo como reductor de agua de alto rango, ya que al ser utilizado en mayor proporción, disminuye la cantidad de agua necesaria para la mezcla de hormigón. Al comparar las dos curvas, se puede ver que existe mejor desempeño a los 3 días por parte de la mezcla 1, pero esta se ve superada por la mezcla dos al comparar su resistencia a los siete días. Sin embargo, la mezcla 1 alcanza valores cercanos a los 65 MPa a los 28 días, valor muy superior al de la mezcla 2 a esta misma edad. Por lo que se puede decir que esta dosificación es más eficiente.

En cuanto a las mezclas que contienen aditivo Sika, se observa lo contrario. La dosificación que tiene menor relación agua-cementante es la que se realizó con 1%. La diferencia entre las dos es de alrededor del 4% de igual manera que para Rheobuild 1000, pero en este caso la dosificación con dos por ciento es la que tiene una relación más alta. Sin embargo, esto no afecta su desempeño debido a que alcanza mayor resistencia a los 28 días que al utilizar 1% de aditivo. Esta diferencia de resistencia a los 28 días no es muy significativa pues se encuentra alrededor del seis por ciento. Se puede decir además, que estas dos mezclas no presentan diferencias significativas en cuanto a resistencias tempranas, porque a los siete días, tal como se puede observar en el gráfico, tienen el mismo valor, y a partir de ahí, el incremento de resistencia es más lento y los valores a los 28 días no superan los 50 MPa.



*Holcim 2% Humo de Sílice – 1% y 2% Rheobuild y SIKA*



**Figura No. 11 Holcim 2% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

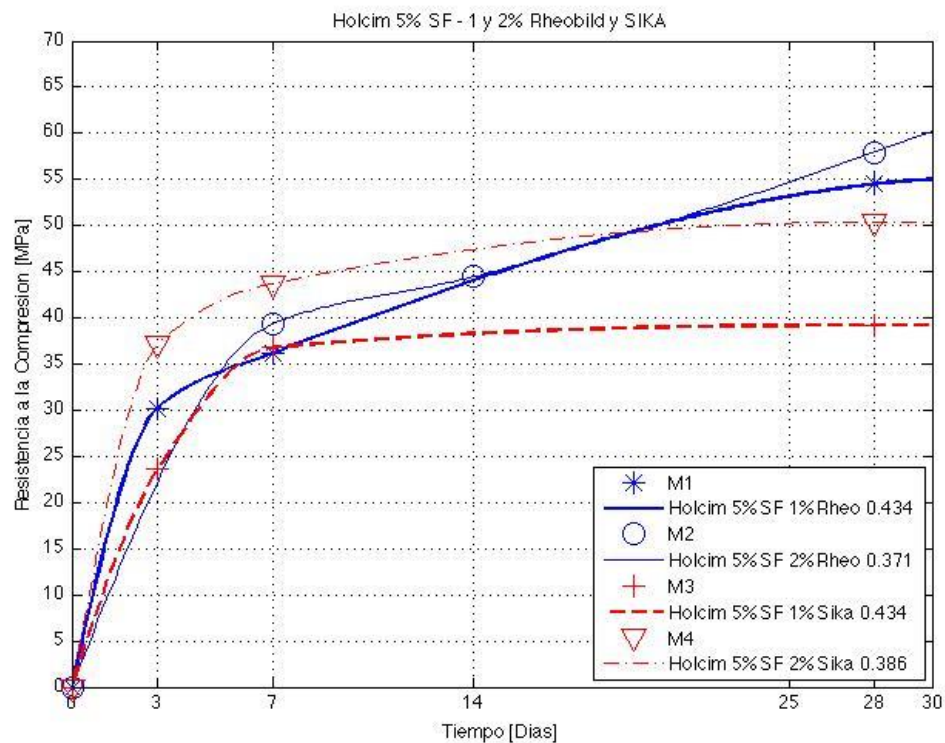
Se puede ver en primer lugar que las relaciones agua-cementante mayores son aquellas en las que el aditivo se utiliza al 1%. Esto se debe fundamentalmente a que al doblar la cantidad de aditivo para la mezcla, es decir al 2%, las especificaciones de cada tipo de aditivo explican que al utilizar esta dosis el aditivo funciona como reductor de agua de alto rango, razón por la cual la relación agua cemento disminuye. Sin embargo este no tiene un efecto preciso en el desarrollo de la resistencia, debido a que la mayor resistencia a los 28 días se obtiene al utilizar 1% de Rheobuild 1000, dosificaciones que tiene una relación agua-cementante final de 0.434.

Sin embargo, se puede apreciar que el rendimiento del aditivo Sika al utilizarlo al 2% ayuda a obtener los mejores resultados en cuanto a resistencias tempranas se refiere, pues alcanza valores de 40 y 45 MPa a los 3 y 7 días respectivamente. Esto a diferencia de los dosis utilizadas para Rheobuild y para el 1% de Sika, que a los 3 días alcanzan resistencias por debajo de los 30 MPa y debajo de los 40 MPa a los 7 días. De igual manera esta dosificación presenta buenos resultados a los 28 días, pues esta aproximadamente solo 5% por debajo de la resistencia alcanzada por 1% de Rheobuild, y tiene menor relación de agua-cementante.

De igual forma, se puede decir que la dosificación realizada con 2% de Rheobuild presenta los resultados menos óptimos para resistencias tempranas, estando por debajo de 35 MPa a los 7 días, una diferencia de cerca del 15% respecto a utilizar 2% de Sika.

En lo que se refiere a resistencia a los 28 días, el resultado menos eficiente se obtiene con el aditivo Sika utilizado al 1%, pues su resistencia es menor a 45 MPa, cerca de 23% menos con respecto a utilizar 1% de Rheobuild 1000, la dosificación con mejores resultados en resistencia final.

*Holcim 5% Humo de Sílice – 1% y 2% Rheobuild y SIKA*



**Figura No. 12 Holcim 5% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

De igual forma que al utilizar 2% de humo de sílice, se puede evidenciar en el gráfico que la relación agua-cementante es menor cuando se utiliza aditivo súper-plastificante al 2%. Pues la adición de este aditivo reduce la relación alrededor del 15% con respecto a la utilización de aditivos al 1%, en este caso.

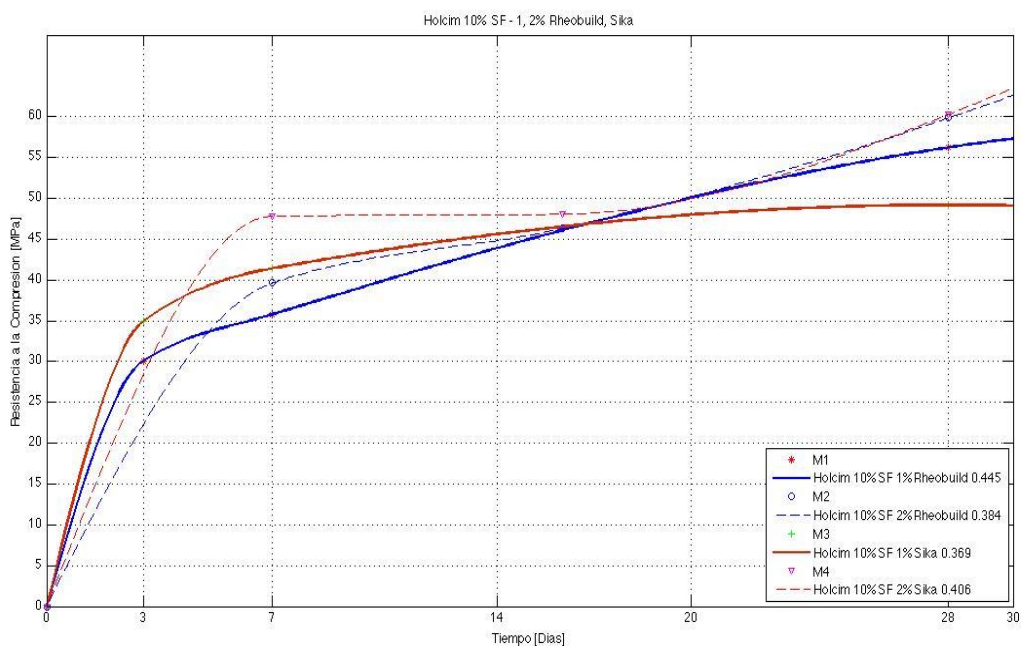
Además, al utilizar los dos tipos de aditivos al 2%, se obtienen los resultados más eficientes en cuanto a resistencia se refiere. En el gráfico se aprecia que al utilizar Sika al 2% los resultados de resistencia temprana son los más óptimos, pues se ha obtenido más de 35 MPa a los tres días y a los siete se han obtenido casi 45MPa, a pesar de que a partir de esta edad el crecimiento es más lento y alcanza un poco más de 50 MPa.

En el caso de Rheobuild 1000 al 2%, se evidencia que tiene un gran crecimiento de tres a 7 días, pues a los tres días alcanza 24 MPa, mientras que a los 7 días 39 MPa, por lo que el incremento es de casi el 40% de esta resistencia final. Además se puede observar mayor crecimiento desde esta edad hasta los 28 días, cuando alcanza su máxima resistencia, en comparación a utilizar el aditivo Sika al 2%. Por esta razón, esta dosificación es la que mejores resultados obtiene al comparar las resistencias finales, ya que se encuentra cercana a los 60 MPa.

En este caso, la dosificación menos eficiente es la compuesta por el aditivo Sika, utilizado al 1%. Esto se debe a que si bien existe un gran crecimiento entre tres y siete días, estos resultados son menores a las dosificaciones que utilizan aditivo al dos por ciento, y además la resistencia final obtenida es la de menor valor entre las cuatro dosificaciones, al encontrarse por debajo de los 40 MPa.

La mezcla realizada con Rheobuild al 1%, presenta mejores resultados de resistencia a los tres días y el valor de resistencia a los 7 días se encuentra no muy por debajo de la curva perteneciente a la mezcla con Rheobuild al 2%. La diferencia de resistencia a los 28 días de esta mezcla es menor que la mezcla de 2 por tan sólo un porcentaje de 6. Razón por la cual se la puede considerar como la mezcla de mayor eficiencia, pues utiliza menos porcentaje de aditivo, lo cual en obra puede resultar menos costoso.

*Holcim 10% Humo de Sílice – 1, 2% Rheobuild, Sika.*



**Figura No. 13 Holcim 10% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

Se puede observar en la gráfica que en el caso del aditivo Rheobuild, se observa que al utilizar 2% de aditivo se tiene mayor crecimiento entre tres y siete días de resistencia, si bien la resistencia es menor a los tres días comparado con 1% de este aditivo. Sin embargo se puede ver que la resistencia es mayor a los veintiocho días, al alcanzar 60 MPa, mientras que la dosificación con 1% apenas supera los 55 MPa.

De igual manera en el caso del aditivo Sika, se puede ver que existe mejor rendimiento al utilizar dicho aditivo al 2% debido a que el incremento de resistencia en el intervalo de cero a siete días es el mayor de las cuatro dosificaciones y que la resistencia final se encuentra de igual forma a cerca de 60 MPa. En cambio la dosificación con 1% de este aditivo, muestra la menor resistencia a los veintiocho días, al no superar los 55 MPa.

Por tanto se puede decir que la dosificación más eficiente es la que contiene 2% de aditivo Sika, debido a que es la más útil cuando se requieren valores altos en resistencias tempranas y su resistencia a los 28 días es de las más altas alcanzadas en este estudio.

Ahora se procede a realizar el mismo análisis con el cemento Guapán.

### Cemento guapán.

#### *Variación Humo de Sílice, manteniendo aditivo y proporción constante*

#### *Guapan – 1% Rheobuild*

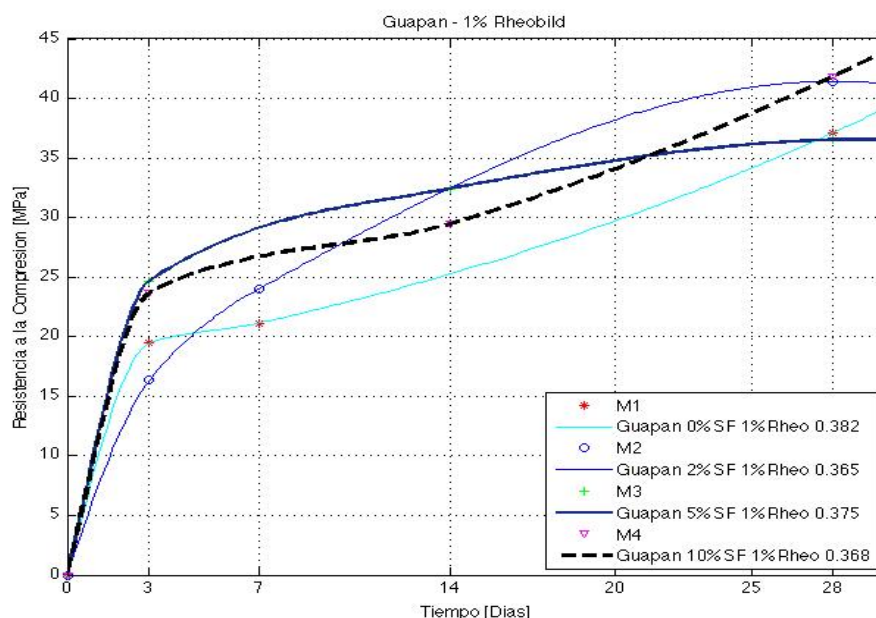


Figura No. 14 Guapán - 1% Rheobuild

En la gráfica correspondiente a variaciones de humo de sílice con cemento Guapán y utilizando aditivo Rheobuild 1000 al 1%, se puede evidenciar a medida que se incrementa el porcentaje de humo de sílice se obtienen mejores resultados en lo que tiene que ver con resistencias tempranas.

Por ejemplo, la mezcla que no contiene humo de sílice, alcanza alrededor de 20 MPa a los tres días y 21 MPa a los 7 días, es decir no existe un incremento considerable en este intervalo de tiempo. No obstante el incremento se da desde los siete días hasta los 28 donde alcanza su resistencia máxima. El incremento es de aproximadamente el incremento producido es cercano al 43 por ciento de su valor final, que es de 37 MPa.

Para la mezcla que contiene 2% de humo de sílice se puede ver un decremento en la pendiente de cero a tres días, por lo cual este valor de resistencia es menor comparado con la mezcla que no contiene humo de sílice. Sin embargo, existe un crecimiento mayor en el intervalo de tres a siete días, que llega hasta los 24 MPa, siendo un incremento considerable de 32% con respecto a este valor de resistencia a los 7 días. Además, se puede evidenciar que el crecimiento posterior a los siete días es mucho mayor ya que a los 28 días se han alcanzado resistencias de alrededor de 41 MPa.

Para los casos de 5 y 10% de contenido de humo de sílice presente en la mezcla, se puede observar que estas dos dosificaciones tienen mejor desempeño al desarrollar resistencias tempranas que las dosificaciones previamente analizadas. Esto se debe a que la pendiente entre cero y tres días es mucho mayor y los valores alcanzados rondan los 25 MPa. Sin embargo, el crecimiento entre tres y siete días no es grande debido a que las resistencias a los esta edad no alcanzan los 30 MPa, como se puede evidenciar en el gráfico. Además, a los 28 días la curva perteneciente a 5% de humo de sílice tiene un incremento de resistencia notablemente menor que la mezcla que contiene 10%, pues esta tiene un valor de resistencia máximo casi igual a la mezcla sin humo de sílice. En cambio la curva de 10%

presenta un incremento mayor que según la gráfica alcanza una resistencia similar al utilizar el 2% de sílice. Esto puede explicarse mediante la relación de agua cemento pertenecientes a las mezclas que contienen 2 y 10% de humo de sílice, cuyo valor es de 0.36, mientras que para las otras dos dosificaciones la relación ronda el valor de 0.38, es decir la reducción es de 3 por ciento, pero esta diferencia se ve claramente reflejada en los valores de resistencia final obtenidos.

Se puede decir que el humo de sílice actúa mejor en cuanto a resistencias tempranas se refiere cuando se añade ésta a la mezcla en mayor proporción, como explica la gráfica con 5 y 10%. A pesar de esto, al usar 2% de sílice se obtiene una resistencia final a los 28 días prácticamente igual a la dosificación con 10%, lo que puede representar un beneficio en cuanto a costos.



### Holcim – 2% Rheobuild

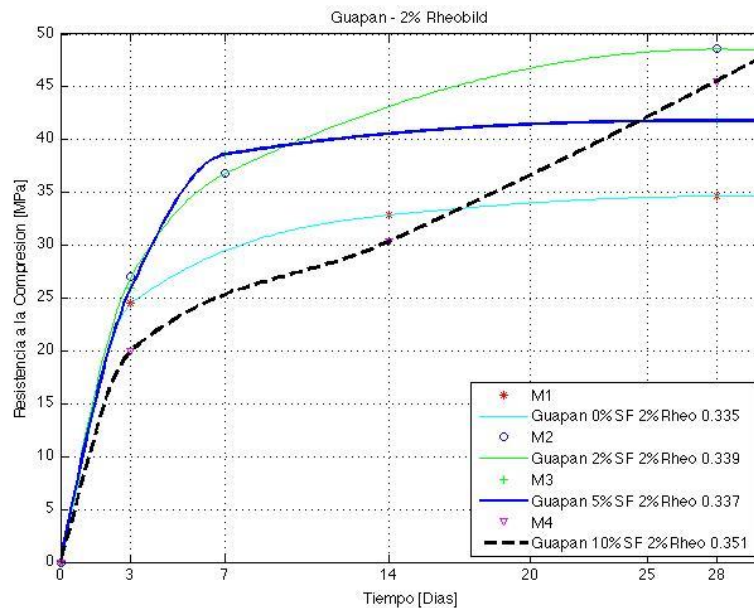


Figura No. 15 Guapán - 2% Rheobuild

Al utilizar 2% de aditivo Rheobuild 1000 en las dosificaciones de hormigón, se puede evidenciar varias diferencias con respecto a utilizar 1%. En primer lugar se puede ver en la gráfica que el desempeño menos eficiente para desarrollar resistencias tempranas se da al utilizar 10% de humo de sílice. Esto puede deberse a que la relación agua-cementante es mayor para esta dosificación, mientras que las demás dosificaciones presentan relaciones muy parecidas.

Se puede notar además, que el desempeño a los tres días mejora al no utilizar humo de sílice o al utilizarlo en 2 y 5% del peso del cemento, cuya diferencia de valor alcanzado a esta edad no es de consideración. Sin embargo, en el intervalo de 0 a 5%, se observa que a medida que aumenta el contenido de humo de sílice, la resistencia a los 7 días mejora considerablemente entre 0 y 5%, pues se muestra una diferencia de aproximadamente el

25%. La diferencia de resistencia a los siete días entre mezclas con 2 y 5 por ciento no es considerable.

A pesar de que no es apreciable la diferencia a los siete días, se puede ver un gran incremento de resistencia desde los siete días cuando se utiliza 2% de humo de sílice en la dosificación, cuyo valor de resistencia máxima bordea los 50 MPa. Esto no sucede para la dosificación que utiliza 5% de humo de sílice, cuyo crecimiento es menor y llega hasta un máximo de 42 MPa. Estos resultados pueden deberse a que a mayor contenido de humo de sílice y con una misma relación de agua-cementante las reacciones que se producen en la pasta de cemento impiden que las moléculas internas puedan llegar a hidratarse.

Razón por la cual se puede afirmar que la dosificación más óptima para Guapán con dos por ciento de aditivo Rheobuild 1000, es la que contiene 2% de humo de sílice y que representa una gran ventaja en cuanto se refiere a costos, comparando con dosificaciones que contienen este cementante en mayor proporción.

### Guapán – 1% Sika

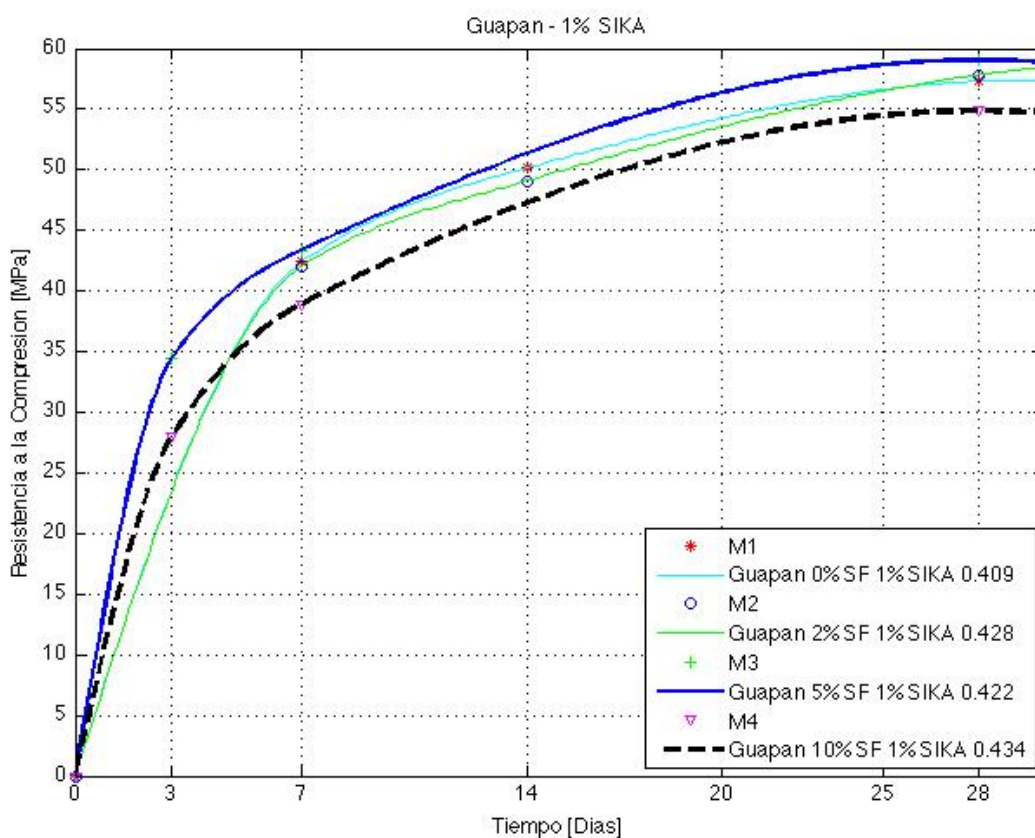


Figura No. 16 Guapán - 1% Sika.

En primer lugar se puede apreciar que existe un aumento de la resistencia para todas las dosificaciones con respecto al uso de Rheobuild con sus dos dosis. Además se han obtenido dichos resultados utilizando relaciones agua-cementante mayores que las dosificaciones con Rheobuild. Las relaciones para este caso oscilan entre 0.40 y 0.43, lo que explica que se utilizó mayor cantidad de agua para las mezclas. Según el fabricante, en las especificación afirma que al usar el aditivo Sika al 1%, este actúa como súper-plastificante, mas no como reductor de agua de alto rango, lo cual está en concordancia con lo que se observa en el gráfico, porque permite mayor trabajabilidad manteniendo relaciones agua-cementante constantes.

Se puede ver que el mejor desempeño a resistencias tempranas lo consigue la mezcla que contiene 5% de humo de sílice cuyos valores de resistencia alcanzan los 35 y 43 MPa a los tres y siete días, respectivamente. De igual forma, esta dosificación obtiene los mayores resultados a los 28 días al estar bordeando los 60 MPa.

Además se puede apreciar que no hay mayor diferencia entre las mezclas con 0 y 5% de humo de sílice, prácticamente sus curvas de resistencia están sobrepuestas. La mezcla con 10% es la menos eficiente debido a que si bien tiene mejores resultados a los tres días que las curvas de 0 y 5%, el crecimiento a partir de esa edad es mucho menor y es la mezcla que ha obtenido los menores resultados a los 7 y 28 días.

### Guapán – 2% Sika

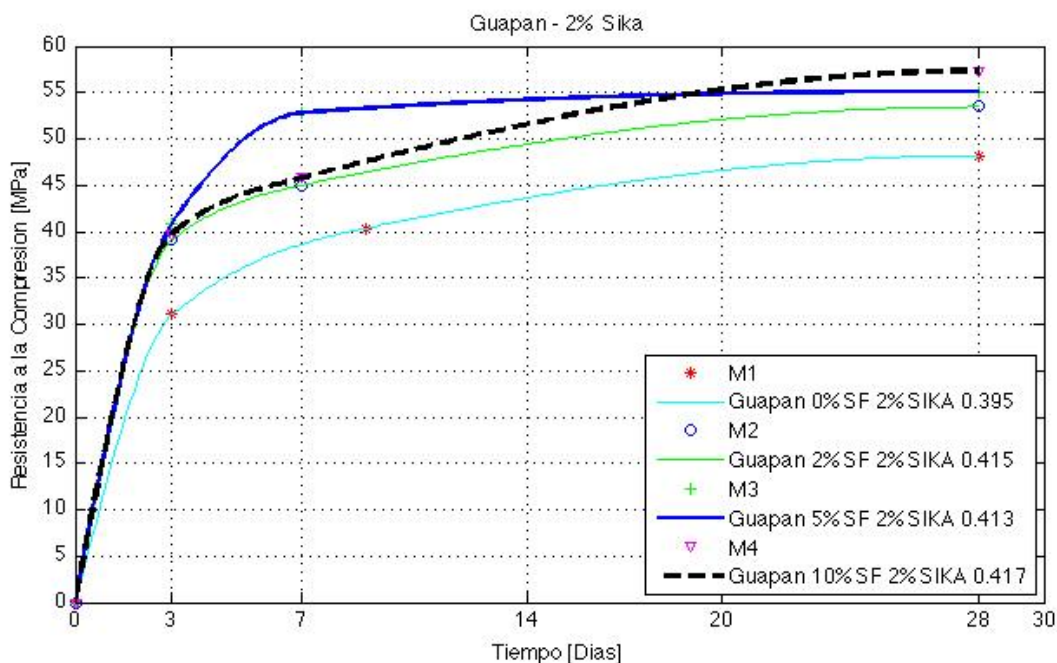


Figura No. 17 Guapán - 2% Sika.

En la gráfica superior, se puede ver que el desempeño menos óptimo, tanto a los tres, siete y como veintiocho días, sucede al no utilizar humo de sílice, a pesar de que presenta la relación agua-cementante más baja del grupo (0.395). El uso de aditivo al 2% se puede ver en el incremento de resistencia temprana a los tres días en comparación con la gráfica anterior, pues los valores a esta edad se encuentran cerca de los 40 MPa. A partir de esa edad, se presentan grandes diferencias en el intervalo hasta los siete días.

Por un lado, se puede observar que el incremento de resistencia de tres a siete días entre 2 y 10% de humo de sílice son muy parecidos entre sí, pues ambos son cercanos a 45 MPa, a los 7 días. Por otra parte, se puede evidenciar que la resistencia aumenta de forma más rápida en este mismo intervalo para la dosificación que utiliza 5% de humo de sílice. El

aumento de resistencia en este intervalo de tiempo es de aproximadamente 15 por ciento. Mientras que para las otras dosificaciones es de 13 por ciento. Esto da como resultado una diferencia de resistencia de 15% a los 7 días entre utilizar 5% y 10% de humo de sílice.

No obstante, se observa que los resultados a los 28 días no mantienen esta tendencia. Se puede apreciar que se logra mayor resistencia final utilizan 10% de humo de sílice, pues el incremento de resistencia para esta dosificación es mayor que las demás a partir de los siete días, en especial de la dosificación que contiene 5%, la cual muestra un crecimiento más lento y tiene a volverse una línea recta. Sin embargo esta diferencia de resistencia entre dichas dosificaciones es tan sólo del 3.5%, razón por la cual se puede afirmar que lo más óptimo y efectivo se utiliza cemento Guapán con 2% de Sika, sería utilizar 5% de humo de sílice, debido a su ventaja en cuanto a ahorro de material, resistencia adecuada y reducción de costos.

### Variación de Aditivos y porcentajes, manteniendo constante el porcentaje de Humo de Sílice

Guapán 0% Humo de Sílice – 1,2% Rheobuild, Sika.

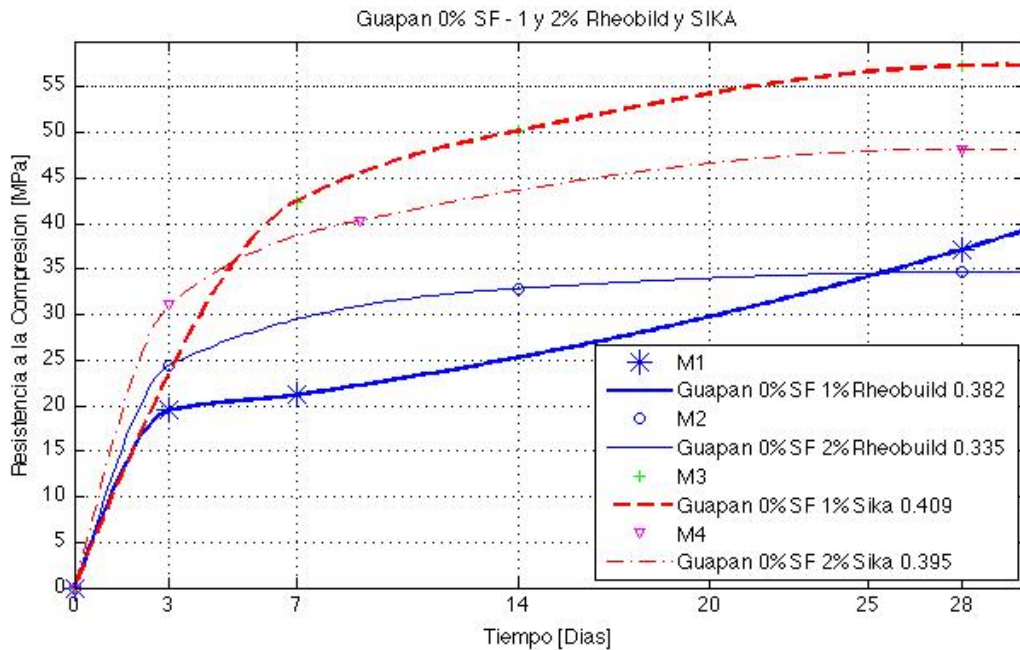
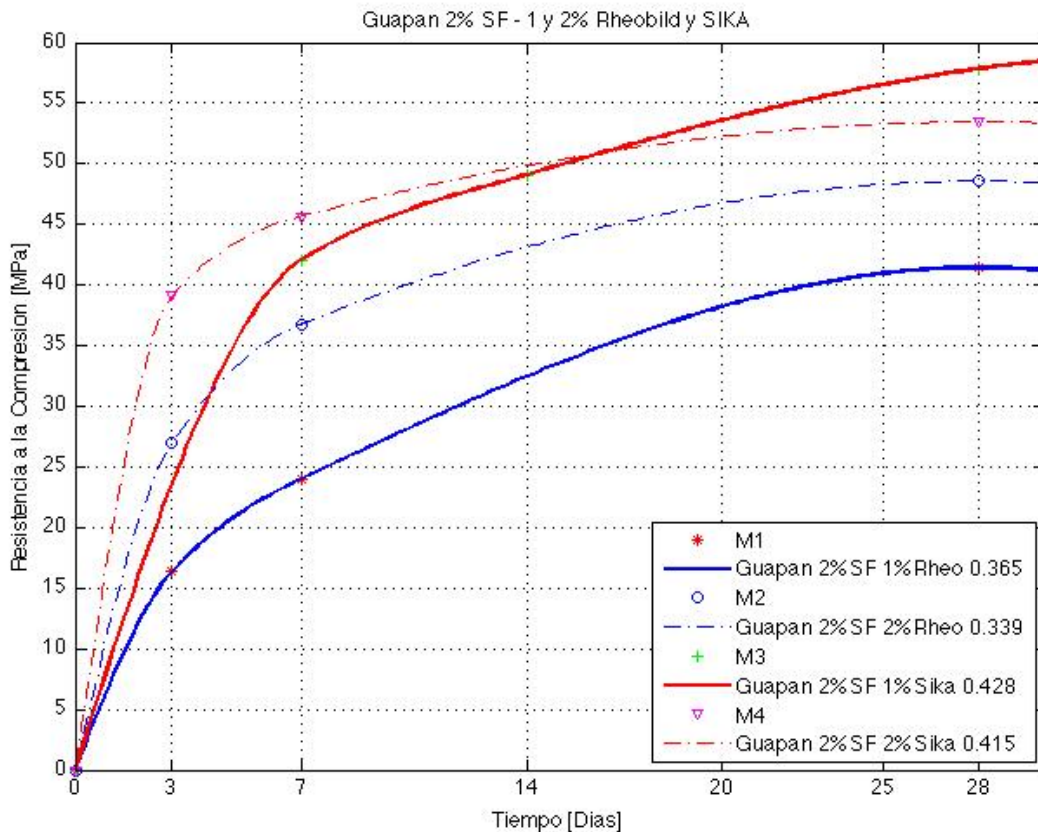


Figura No. 18 Guapán 0% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.

Lo primero que se puede evidenciar en la gráfica, es que se obtienen mejores prestaciones al utilizar aditivo Sika, en lugar de Rheobuild cuando no se utiliza en la mezcla humo de sílice. Esto puede sustentarse tanto en los valores obtenidos para resistencias tempranas como valores de resistencia a los 28 días. Se observa de forma contundente que la diferencia en la resistencia máxima es de aproximadamente 35% entre utilizar Sika y Rheobuild al 1%. La diferencia, aunque menor, entre utilizar estos dos aditivos al 2% es de casi 30%. Cabe resaltar además, que a pesar de que las mezclas con Rheobuild tienen menores relaciones agua-cementante que las de Sika, éstas últimas consiguen tener mejores prestaciones.

Al comparar entre las mezclas realizadas con Sika, se puede ver que al utilizar 2% existe un mejor desempeño a los tres días en cuanto a la resistencia, pero a los siete días existe mejor desempeño con 1% de aditivo. Además, al utilizar aditivo al 1% se obtiene mayor resistencia a los 28 días que al utilizar 2%. A pesar de la reducción de agua en la mezcla al 2% de aditivo, se obtienen mejores resultados de resistencia manteniendo en 0.40 la relación agua-cementante para 1% de aditivo con cemento Guapán.

*Guapán 2% Humo de Sílice – 1,2% Rheobuild, Sika.*



**Figura No. 19 Guapán 2% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

Al igual que al realizar mezclas sin humo de sílice, en la gráfica se puede apreciar que el rendimiento del hormigón con aditivo Sika es de mayor eficiencia que al utilizar Rheobuild.

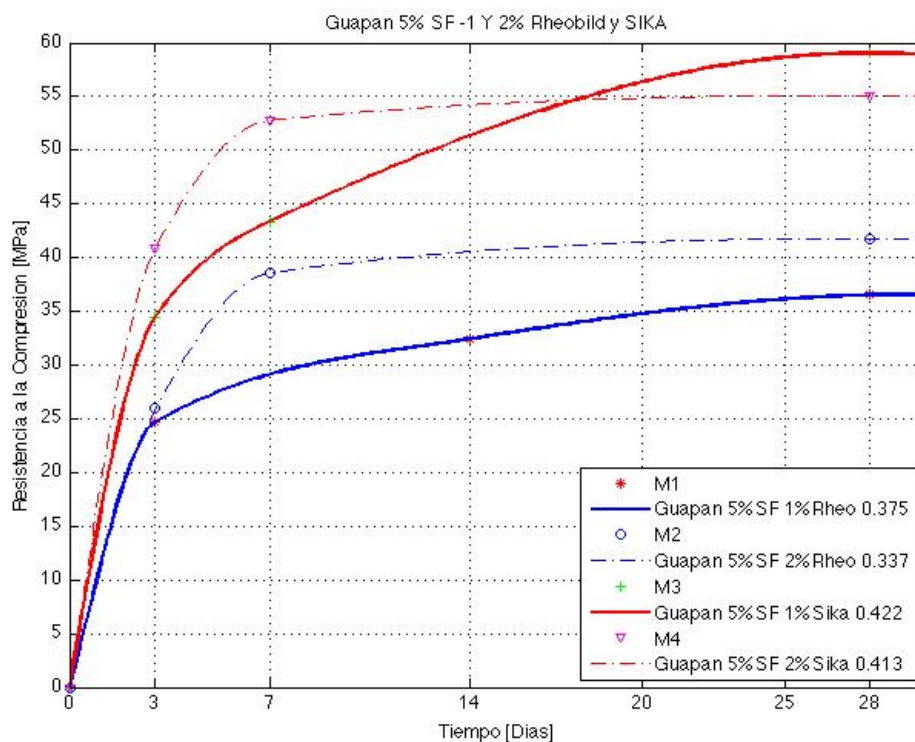


Esto se puede apreciar tanto en el desarrollo de resistencia máxima a los 28 días en el que al utilizar 1% de aditivo, la diferencia es de es de 28 por ciento. Mientras que al utilizar 2% de aditivo, existe una diferencia de cerca del 10% entre los dos tipos de aditivo.

Para el caso de uso de Rheobuild, se puede evidenciar que existen mayores prestaciones en cuanto a resistencia al utilizar 2% de aditivo, debido a que, como se ha mencionado con anterioridad, este actúa como reductor de agua, lo cual reduce la relación agua-cementante y favorece a la resistencia. Al comparar las dos relaciones, se puede ver que al utilizar 2% de aditivo, la relación baja de 0.365 a 0.339, es decir se reduce un 7%, lo cual favorece al incremento de resistencia a la compresión, como se observa en el gráfico, tanto para resistencias tempranas como final.

En el caso del Aditivo Sika, se puede observar algunas diferencias entre las proporciones. Por ejemplo, se observa al utilizar dicho aditivo en mayor proporción favorece el aumento de resistencias tempranas, pues a los tres y siete días la resistencia es mayor al utilizar dos por ciento de aditivo. Sin embargo, la gráfica muestra que el incremento de la resistencia a la compresión se da de forma más rápida al utilizar 1% de aditivo, debido a que en el intervalo de 3 a 7 días el incremento es de cerca del 42% con respecto a la resistencia ganada a los siete días. Además, a los 20 días la mayor resistencia obtenida, ha sido con dicha dosificación. Esto puede representar grandes ventajas en obra, debido a que se obtienen valores aceptables de resistencia temprana, mejor resistencia a los 28 días y ventajas en el costo de hormigón al utilizar 1% de aditivo Sika.

*Guapán 5% Humo de Sílice – 1, 2% Rheobuild y Sika.*



**Figura No. 20 Guapán 5% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

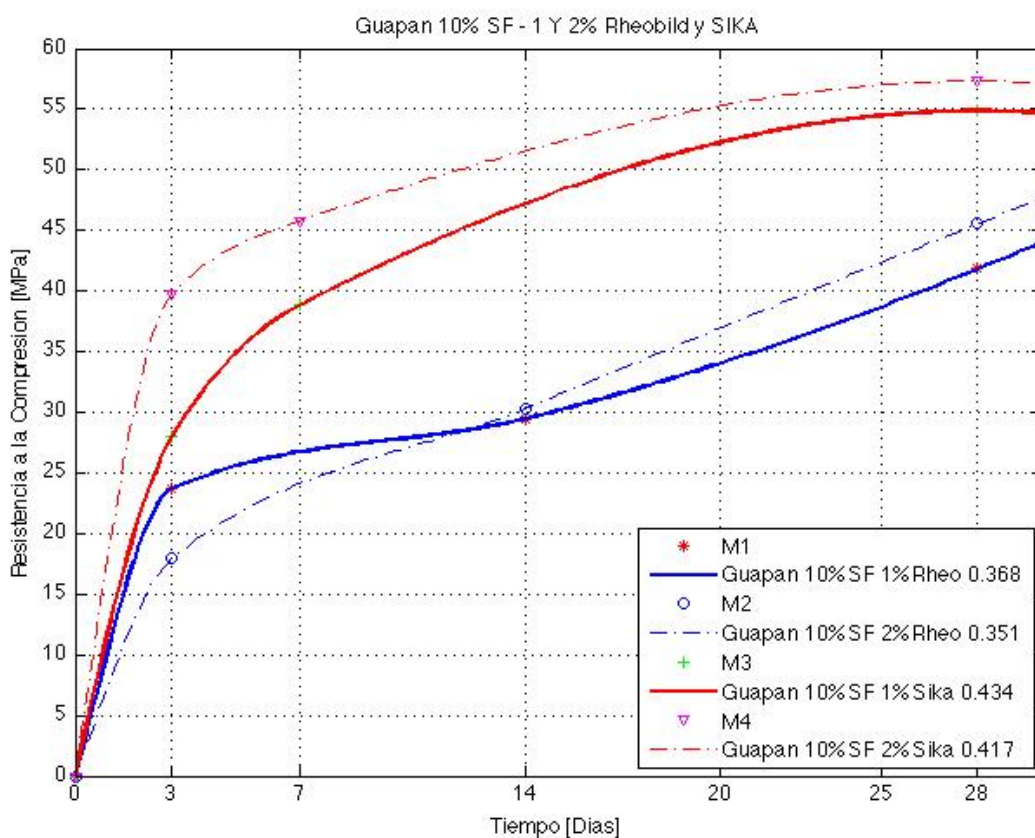
De igual forma, se puede ver que al utilizar cemento Guapán para una mezcla de hormigón, se obtienen mejores resultados utilizando aditivo Sika. Esto se puede apreciar en las diferencias de resistencia a la compresión, tanto tempranas como finales a los 28 días. Además, el aditivo Sika permite tener mayores relaciones agua-cementante y mejores resultados, lo cual aporta mayor trabajabilidad a las mezclas. La diferencia en resistencias finales entre los aditivos al utilizar 1% es de alrededor del 38%, mientras que para mezclas que contienen 2% de aditivo es de casi 24%.

En el caso de dosificaciones que contienen Rheobuild, se puede apreciar que a los tres días su resistencia a la compresión es casi la misma, alrededor de 25 MPa. En cambio, a los 7 días se da una diferencia abrupta, la mezcla que contiene 2% del aditivo tiene un incremento

más veloz en este intervalo de tiempo, llegando a casi 40 MPa, mientras que la mezcla con 1% se encuentra por debajo de los 30 MPa, estableciendo una diferencia de cerca de 25% entre las dos resistencias alcanzadas. Esto puede deberse a que la mezcla con 2% de aditivo, reduce la cantidad de agua necesaria en la mezcla y por ende proporciona más cohesividad y resistencia a la mezcla de hormigón.

En cambio, al utilizar aditivo Sika para la mezcla se pueden apreciar varias diferencias con respecto a los porcentajes que pueden ser utilizados. Se puede observar que existe mayor desarrollo de resistencia temprana al utilizar el aditivo al 2%, el incremento se da de forma más rápida entre 0 y 7 días. Sin embargo, posterior a los 7 días el incremento de resistencia es pequeño, ya que es sólo del 4%. En cambio, si bien se obtienen mejores resultados tempranamente al 2%, las mezclas de hormigón con 1% desarrollan abruptamente su resistencia después de los 7 días. Para el caso, existe un aumento de cerca del 27% y es mayor que la resistencia alcanzada con 2% de aditivo. La diferencia de resistencias finales a los 28 días entre estas dos mezclas es del 7%. Esta diferencia no es muy amplia, por lo que la decisión del porcentaje a utilizarse deberá depender de la aplicación o necesidad en obra. Si se quiere tener mayor resistencia temprana, se deberá utilizar el aditivo al 2%.

*Guapán 10% Humo de Sílice – 1, 2% Rheobuild, Sika.*



**Figura No. 21 Guapán 10% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

De la misma forma que al comparar gráficos anteriores, se puede evidenciar de manera clara que el aditivo Sika proporciona mayores prestaciones al hormigón cuando se utiliza cemento Guapán, que el aditivo Rheobuild. Para este caso la diferencia de resistencia final al utilizar estos aditivos al 1% es de 24%, en cambio, al utilizar estos aditivos al 2%, la diferencia entre del valor de resistencia existente es de 21%. De esta manera se puede decir que el súper-plastificante de Sika trabaja de forma más óptima con cemento Guapán que el aditivo Rheobuild.

En el caso de Rheobuild, se puede observar que se obtienen mejores resultados en cuanto a resistencias tempranas si se utiliza el aditivo al 1%. Sin embargo, al hablar sobre resistencia final a los 28 días, se puede ver en la gráfica que existen mejores resultados al utilizar el aditivo al 2%. Por lo que la elección del porcentaje dependerá de la aplicación en obra que tenga el hormigón. Cabe resaltar que las resistencias obtenidas con 10% y Rheobuild no superan los 45 MPa.

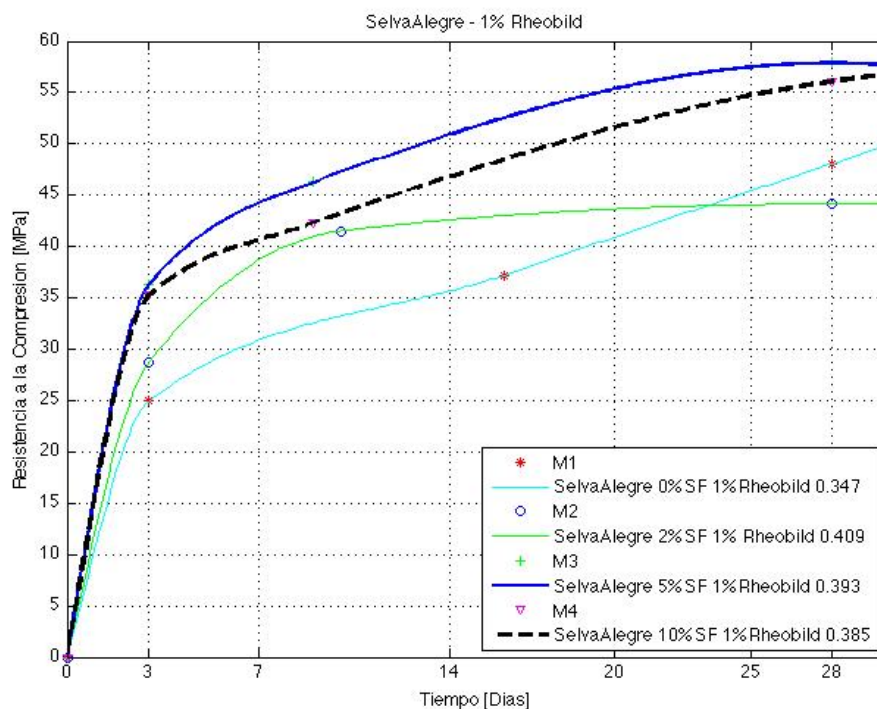
En el caso de Sika, se puede apreciar que a diferencia del análisis con porcentajes menores de humo de sílice, para 10% se puede ver que es totalmente más óptimo utilizar el aditivo al 2%. La razón de esto es que el desarrollo tanto de resistencias tempranas como resistencia a los 28 días es superior que la mezcla que utiliza el aditivo al 1%. La diferencia de resistencia a los 28 días entre estas dos dosificaciones es de aproximadamente 4%, la cual no es una diferencia de consideración. Pero la diferencia de resistencia temprana entre ambas dosificaciones es del 18% (a los 7 días), esto significa que el aditivo está haciendo trabajar y reaccionar efectivamente al humo de sílice, por lo cual se obtienen mejores resistencias y menor porosidad. Por dichas razones, se puede afirmar que utilizar el aditivo Sika al 2% produce el hormigón más eficiente cuando se trabaja con cemento Guapán y humo de sílice al 10%.

Ahora se procede a realizar lo mismo con el cemento Selvalegre Plus.

**Cemento selva alegre.**

**Variación de Humo de Sílice, manteniendo constante el tipo de aditivo y su dosificación**

*Selva Alegre – 1% Rheobuild*



**Figura No. 22 Selva Alegre - 1% Rheobuild**

En el gráfico, se pueden ver varias diferencias entre las distintas dosificaciones. En primer lugar se puede ver que la dosificación que no contiene humo de sílice es la menos óptima en cuanto a resistencias tempranas se refiere, debido a que alcanza 25 MPa a los 3 días mientras que a los 7 alcanza 30 MPa. De esta misma forma, se puede apreciar que dicha dosificación alcanza una resistencia máxima de 48 MPa.

La curva perteneciente a la mezcla que contiene 2% de humo de sílice tiene un crecimiento mayor en resistencia a la compresión a edades tempranas, debido a que bordea

los 30 MPa a los 3 días y se encuentra cerca de 40 MPa a los 7 días, mostrando un crecimiento de casi 31% con respecto a su valor a los siete días, en este intervalo de tiempo. Pero a partir de este valor su crecimiento empieza a ser lento y alcanza menor resistencia máxima que la mezcla sin humo de sílice. Este valor final es de 44 MPa. Esta diferencia con la primera dosificación puede deberse a la relación agua-cementante mayor que tiene esta dosificación, la cual es de 0.409, comparada con la de la dosificación sin humo de sílice, cuyo valor es de 0.347. Esto quiere decir que la mezcla necesitó mayor cantidad de agua para que tanto el humo de sílice como el aditivo pudiesen reaccionar y esto influyó en la resistencia notablemente.

Entre las dosificaciones que contienen 5 y 10% de humo de sílice se puede evidenciar un comportamiento similar hasta llegar a la edad de tres días, en la cual su resistencia a la compresión es de 35 MPa. A partir de ahí, se puede observar que la curva perteneciente a 5% de humo de sílice tiene un crecimiento mayor en el intervalo de 3 a 7 días, el cual es de aproximadamente 21% con respecto a su valor en 7 días. La curva perteneciente al 10% de humo de sílice tiene un crecimiento de 15%, llegando hasta 41 MPa.

La resistencia final que alcanzan estas dosificaciones superan los 55 MPa a los 28 días, y su diferencia es mínima, razón por la cual se considera que la dosificación que contiene humo de sílice al 5% es más óptima y eficiente, debido a que obtiene mejores resultados que la mezcla con 10% en cuanto a resistencia se refiere, y permite ahorrar material, lo cual tiene ventajas económicas. Se puede confiar en la veracidad de estos datos, ya que su relación agua-cementante varía ligeramente.

### Selva Alegre – 2% Rheobuild

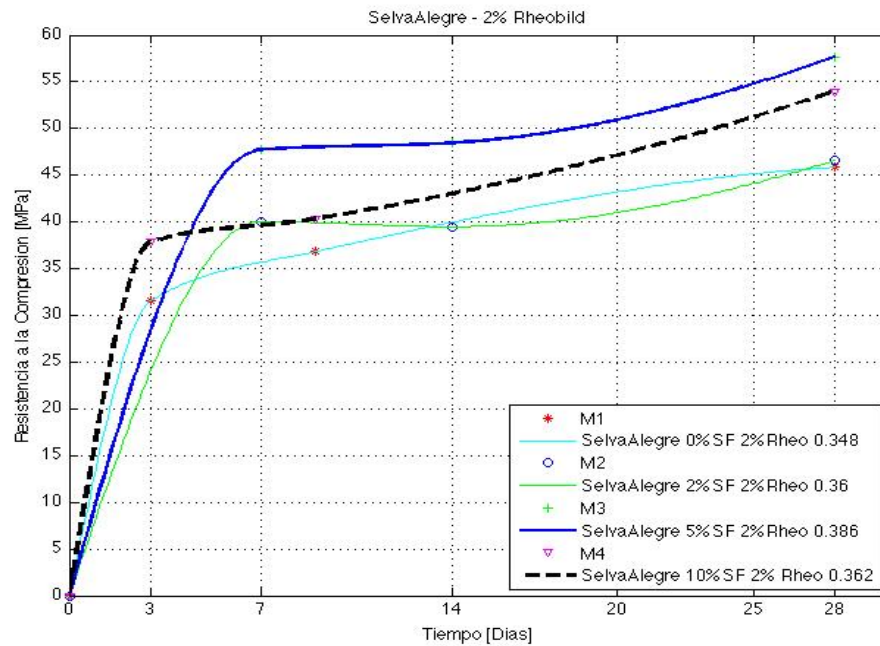


Figura No. 23 Selva Alegre - 2% Rheobuild

En la gráfica se puede observar que de igual forma que utilizar el aditivo al 1%, los resultados menos óptimos en cuanto a resistencia se obtienen sin utilizar humo de sílice y con 2% de este material. En el caso de la primera mezcla, la resistencia a los tres días está cerca de 31 MPa, y a los 7 días desarrolla una resistencia de casi 36 MPa, es decir, no se ha ganado mucha resistencia en este intervalo de tiempo. En el caso del 2% de humo de sílice se puede ver que si bien la resistencia a los tres días ronda los 25 MPa (menor que sin humo de sílice), esta aumenta considerablemente en el intervalo de tres a siete días, alcanzando una resistencia cercana a los 40 MPa.

De igual forma que en la gráfica anterior, en esta se puede apreciar claramente que se obtienen mejores prestaciones al utilizar 5% de humo de sílice en la mezcla de hormigón. Esto se puede evidenciar en el aumento de resistencia alto que existe entre 0, 3 y 7 días. En



este último intervalo la resistencia aumenta en un 36% con respecto a la resistencia en siete días. Y su resistencia final llega hasta 57 MPa. Por esta razón se considera que la dosificación realizada con 5% de humo de sílice funciona mejor y es más económica que la que utiliza 10%, a pesar de tener una relación de agua-cementante mayor, en este caso de 0.386 contra 0.362. Esto quiere decir que el humo de sílice trabaja con mayor eficiencia al estar presente en 5% de la cantidad del cemento, debido a que se hidrata de mejor manera y existe mayor adherencia en la zona de transición entre el agregado grueso y la pasta de cemento.

### Selva Alegre – 1% Sika

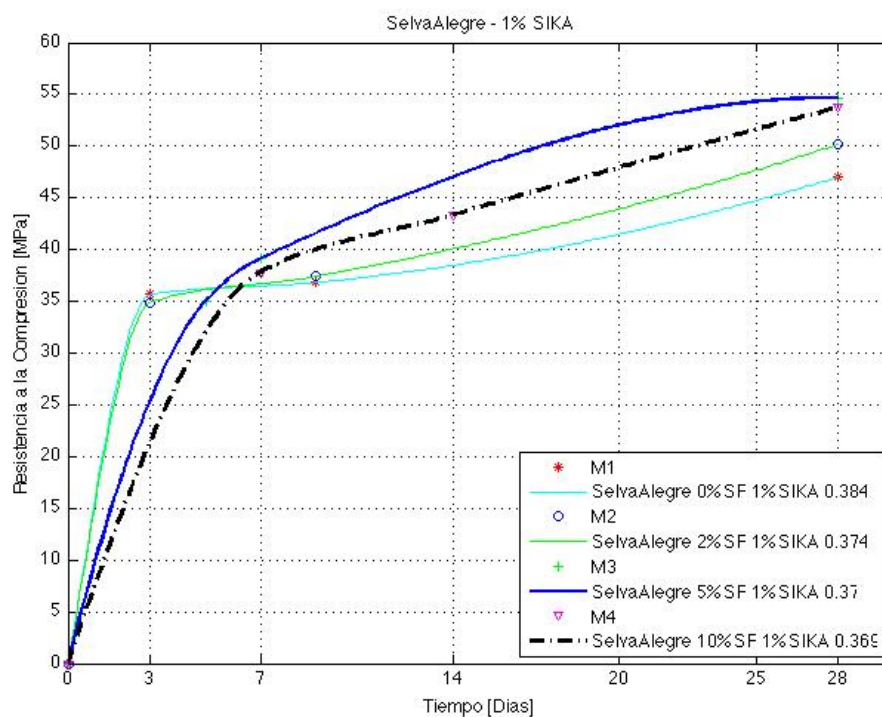


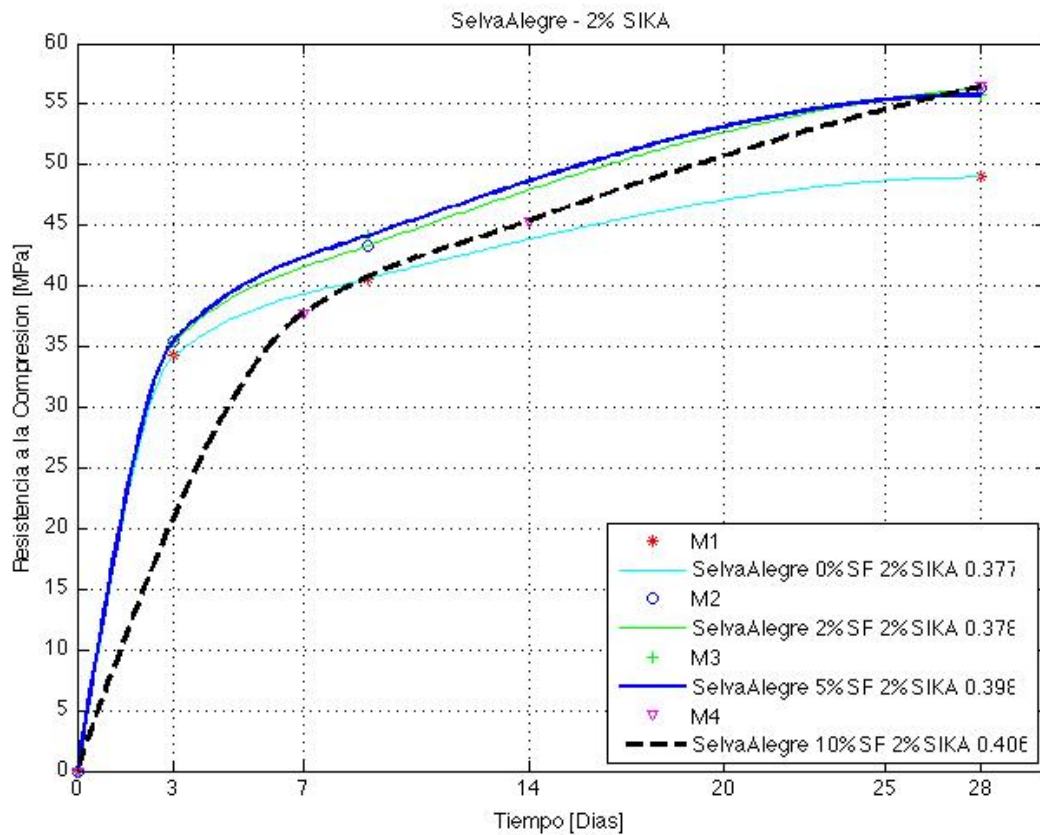
Figura No. 24 Selva Alegre - 1% Sika.

En esta gráfica se puede apreciar que existe cierta similitud entre las dosificaciones con 0 y 2% de humo de sílice, sobre todo en cuanto se refiere a resistencias tempranas, esto es a

los 3 y 7 días, donde alcanzan un valor de resistencia a la compresión de alrededor de 35 MPa y 37 MPa, respectivamente, sin embargo se muestra que a resistencias tempranas mejora el rendimiento sin utilizar humo de sílice mediante la adición del súper-plastificante Sika. A partir de esta edad, se nota una ligera diferencia y separación entre las dos curvas que al llegar a los 28 días, valor de resistencia máxima, tiene mayor resistencia la curva perteneciente a la dosificación con 2%. La diferencia entre estas dos resistencias finales es de 6%, que esta va en concordancia con las relaciones de agua-cementante que tienen dichas mezclas, cuyo mayor valor pertenece a la dosificación que no contiene humo de sílice.

De igual manera, se puede apreciar que las curvas que contienen 5 y 10% de humo de sílice tienen mejor rendimiento que las descritas anteriormente. En este caso, se observa que la curva de 5% muestra mejores ligeramente mejores resultados para resistencias tempranas que la curva de 10%. No obstante, al comparar sus valores de resistencia a los 28 días, se observa que son prácticamente iguales, razón por la cual es más eficiente en cuanto ahorro de material y ventaja en costo la utilización del 5% de humo de sílice. Además las resistencias son muy parecidas al haber una diferencia de 0.01, por lo que el análisis tiene mayor precisión.

*Selva Alegre – 2% Sika*



**Figura No. 25 Selva Alegre - 2% Sika.**

Lo que en primer lugar se puede observar es que el rendimiento menos óptimo para resistencias tempranas se da al utilizar 10% de humo de sílice, esto puede a que no se da una hidratación óptima en los primeros días de curado debido a la cantidad de humo de sílice en la mezcla. Sin embargo, la resistencia final de la mezcla de hormigón con esta cantidad de humo de sílice es alta y de igual magnitud que las mezclas con 2 y 5%.

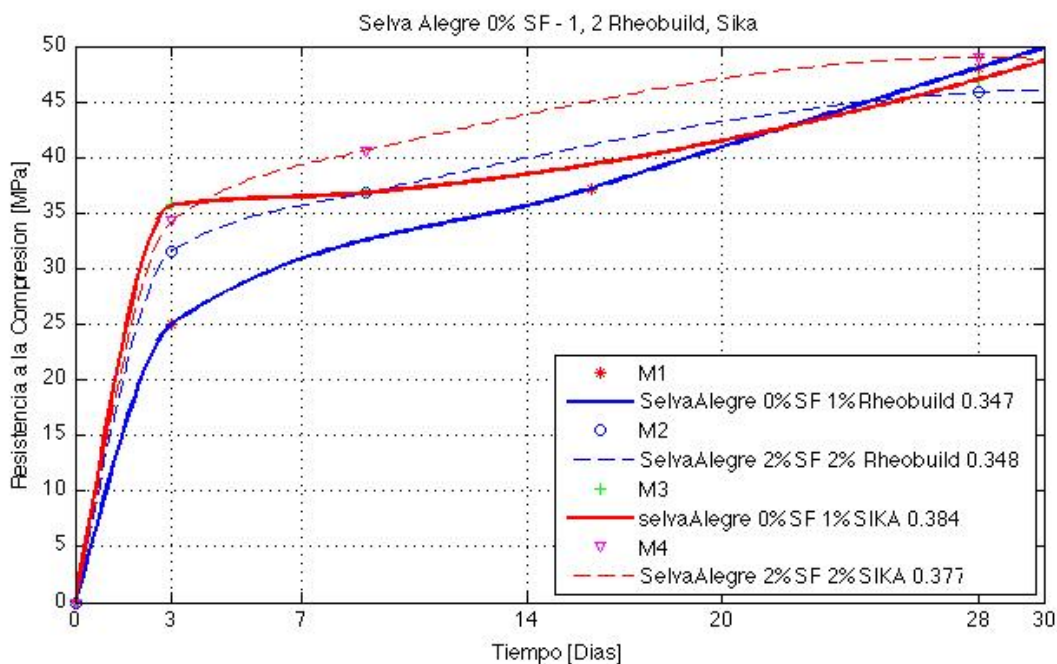
También se puede apreciar que al utilizar 2% de aditivo Sika, la mezcla de hormigón utilizando cemento Selva Alegre sin la presencia de humo de sílice mejora notablemente, especialmente en cuanto a resistencias tempranas se refiere, pues a los tres días alcanza

valores cercanos a los 35 MPa y 40 MPa a los 7 días. Lo mismo sucedió al utilizar 1% de este mismo aditivo, por lo que se puede inferir que cuando no se utiliza humo de sílice resulta mejor la utilización de Sika en lugar del aditivo Rheobuild 1000.

Algo que se debe destacar en esta gráfica, es el mejoramiento en cuanto a rendimiento que tiene la mezcla de hormigón al usar 2% de humo de sílice con 2% de Sika, con respecto al uso de Rheobuild y de 1% de Sika. En este caso, con 2% de humo de sílice se obtienen prácticamente los mismos resultados que al usar 5%, y con una relación agua-cementante más baja. Por lo tanto se puede decir que al usar 2% del súper-plastificante Sika, la dosificación de mayor eficiencia se logra al adicionar 2% de humo de sílice, ya que el aditivo ayuda a reducir la cantidad de agua necesaria en la mezcla, lo cual ayuda al desarrollo de valores de resistencia más altos. En este caso, los resultados a los 28 días son prácticamente el mismo entre las dosificaciones de 2, 5 y 10%, pero al usar 2% de humo de sílice se obtienen grandes ventajas de ahorro de material y económicas.

**Variación de Aditivo y su proporción, manteniendo constante el porcentaje de humo de sílice.**

*Selva Alegre 0% Humo de sílice – 1, 2% Rheobuild, Sika*



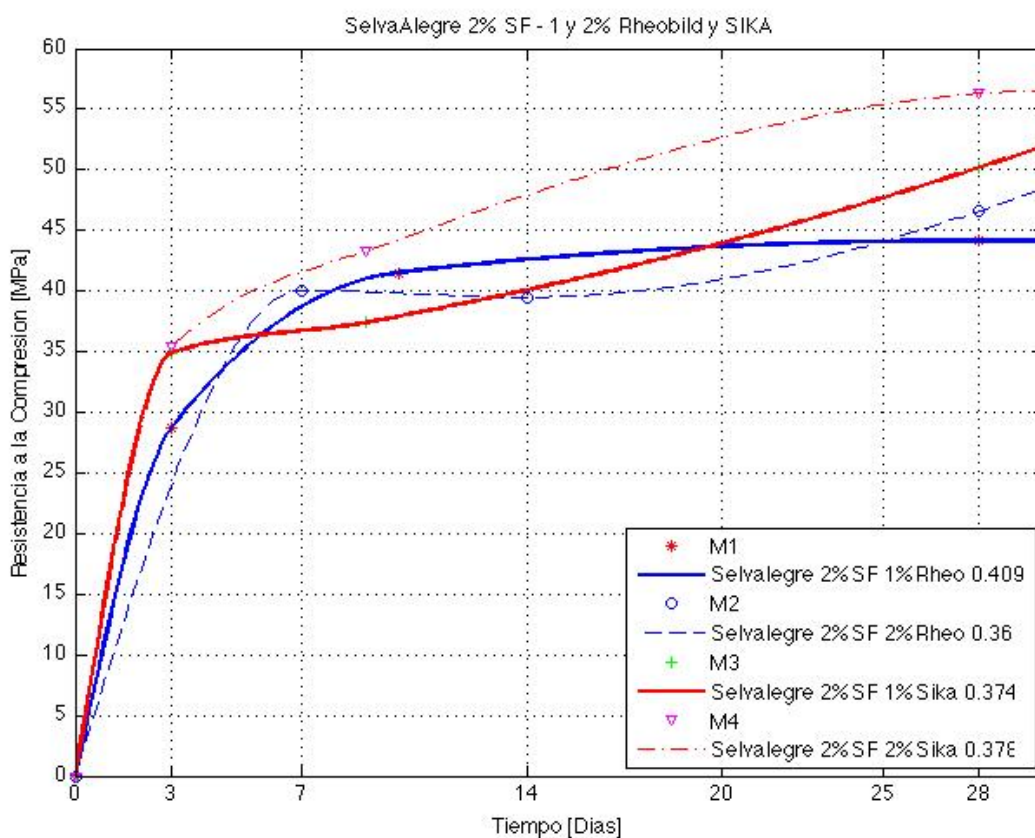
**Figura No. 26 Selva Alegre 0% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

Lo que en primer lugar se puede observar es que al analizar las dosificaciones realizadas con el aditivo Rheobuild 1000, existe un mejor desempeño en cuanto a resistencias tempranas se refiere al utilizar 2% de dicho aditivo. Con este porcentaje, a los tres días se alcanza una resistencia de aproximadamente 32 MPa, mientras que a los siete esta ha aumentado a 35 MPa. Para el 1% de aditivo el incremento de resistencia es menor en edades tempranas, aumenta de 25 a 30 MPa en el intervalo de tres a siete días. Sin embargo se puede notar que a los 28 días la resistencia alcanzada por esta dosificación es ligeramente mayor que la que contiene 2% de aditivo, aproximadamente del 5%. Las relaciones agua cementante de las dos dosificaciones es prácticamente la misma, esto

significa que el aditivo actúa como súper-plastificante en los dos casos más que como reductor de agua.

En el caso de las dosificaciones en las cuales se utilizó Sika, se puede evidenciar que el rendimiento más óptimo sucede al utilizar dicho aditivo al 2%, debido a que si bien a los tres días la resistencia entre las dos mezclas es la misma, a partir de esta edad el incremento de la resistencia se da de forma más veloz y a los siete días bordea los 40 MPa mientras que la dosificación con 1% no hay cambio considerable en su valor de resistencia a esta edad. Además, se observa que a los 28 días la resistencia de estas dos mezclas tiene una ligera diferencia siendo mayor la mezcla con 2% de aditivo. Esto se logra porque dicha dosificación tiene menor relación agua-cementante, la cual se debe a la condición del aditivo como reductor de agua al usarlo en dicha proporción. Por esta razón, es posible afirmar que la dosificación con aditivo Sika al 2% es la que mejores prestaciones brinda en cuanto a resistencias tempranas y máximas.

*Selva Alegre 2% Humo de sílice – 1, 2% Rheobuild, Sika*



**Figura No. 27 Selva Alegre 2% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

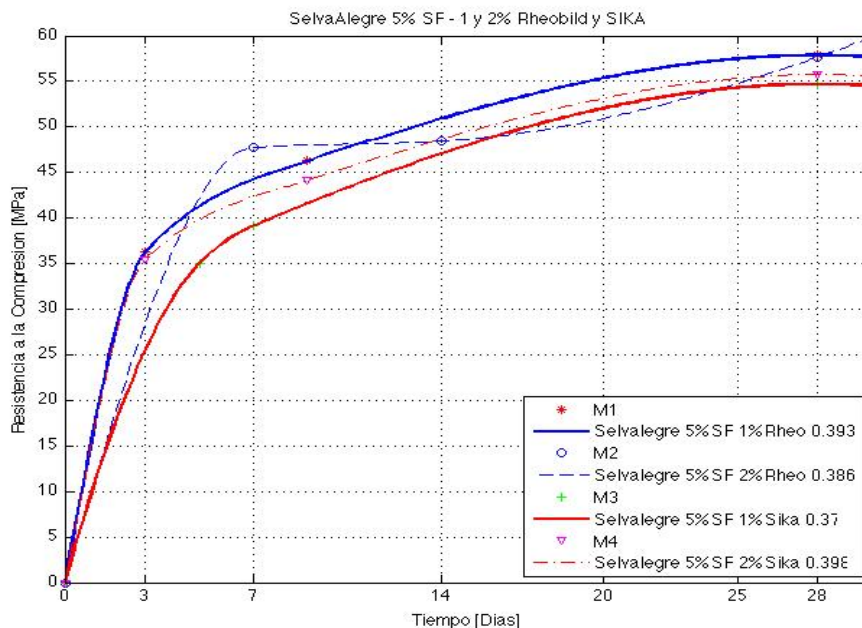
En la presente gráfica se puede observar que al igual que en la figura anterior, las mejores prestaciones en cuanto a resistencia temprana y final se logran al utilizar aditivo Sika al 2%. En el caso de las mezclas que utilizan Rheobuild, se puede apreciar que tienen un crecimiento elevado en los intervalos de cero a tres y de tres a siete días. Sin embargo, a partir de los siete días la resistencia no se incrementa de forma considerable. La resistencia final de la mezcla con 1% de Rheobuild es la que menos resistencia final alcanza y puede deberse a que tiene la relación agua-cementante mayor entre el grupo de mezclas. Además se observa que la diferencia de resistencias a los veintiocho días entre las mezclas de

Rheobuild es del 5%, por lo que no es justificable en cuanto a costos utilizar el 2% de este aditivo para la mezcla con Selva Alegre.

En cuanto a las dosificaciones que han utilizado Sika, se puede observar que existen grandes diferencias de resistencia entre utilizar 1 y 2% de aditivo. En primer lugar se puede ver que si bien tienen una resistencia parecida a los tres días (cerca de 35 MPa), el incremento de este valor se da de forma más veloz en la mezcla con 2%, pues a los siete días es aproximadamente un 14% mayor que la mezcla con 1%, mientras que los veintiocho días esta mezcla es mayor de forma aproximada un 11%, lo cual justifica la utilización del aditivo al 2%, considerando que la relación agua-cementante entre estas mezclas es prácticamente igual. Por lo que se puede decir que el humo de sílice cumple su función de alcanzar resistencias tempranas altas al utilizarlo con Sika al 2%.



*Selva Alegre 5% Humo de sílice – 1, 2% Rheobuild, Sika*

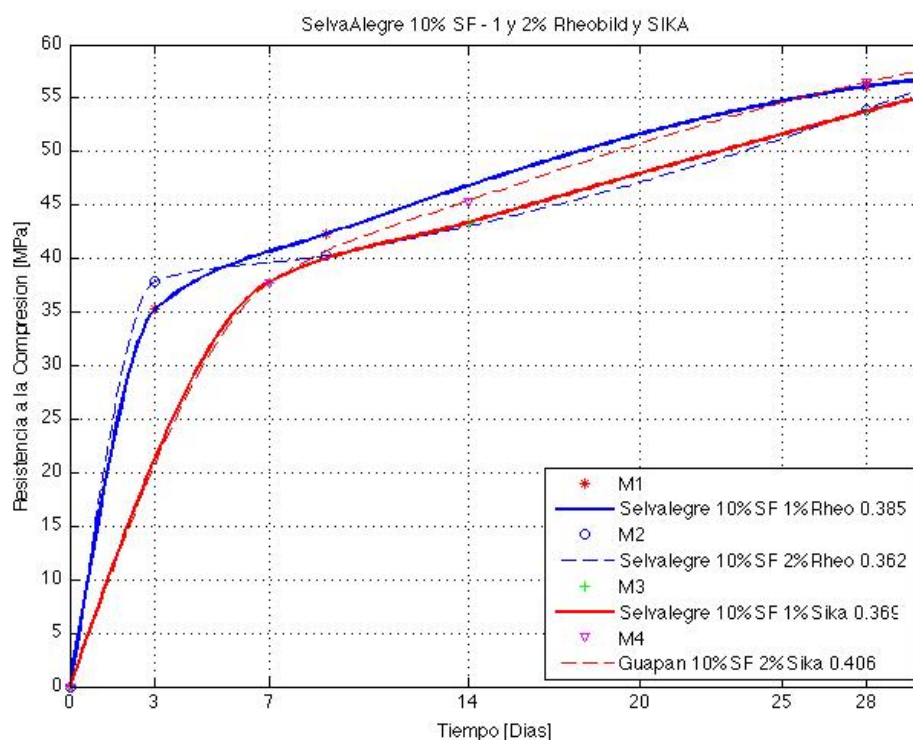


**Figura No. 28 Selva Alegre 5% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika.**

En esta figura se pueden ver varias diferencias con respecto a las anteriores figuras, las cuales compartían algunas tendencias. La primera diferencia tiene que ver con que se existe una mayor eficiencia por parte del aditivo Rheobuild al trabajar con 5% de humo de sílice por sobre las mezclas con 0 y 2% de este material. Se puede ver que existe mayor desarrollo de resistencia temprana, debido a que las curvas con Rheobuild muestran mayor crecimiento en los intervalos de cero a tres y de tres a siete días, logrando alcanzar resistencias entre 45 y 50 MPa a dicha edad, lo cual no pasaba con dosificaciones con 0 y 2% de humo de sílice, cuyas resistencias a los siete días no superaban los 40 MPa. Además en la gráfica se puede apreciar que su resistencia final a los 28 días es prácticamente igual, por lo cual la elección del porcentaje de este aditivo dependerá de aspectos como el económico y la aplicación de obra (resistencias tempranas). Se observa también que al utilizar 2% del aditivo, este reduce la relación agua-cementante en aproximadamente 2%.

En lo que tiene que ver con el aditivo Sika, se puede observar que la relación agua-cementante es mayor al utilizar 2% del aditivo, sin embargo, existe mayor desempeño de resistencias tempranas que para 1% de aditivo. Esta diferencia se puede apreciar especialmente a los tres días, cuando la resistencia es mayor en casi un 30%. A partir de los siete días esta diferencia empieza a reducirse y a los veintiocho días, cuando el hormigón alcanza su resistencia máxima, la diferencia de resistencias es mínima y se encuentra por los 55 MPa. Por lo tanto, se puede afirmar que el aditivo ayuda a trabajar al humo de sílice en 5% del peso del cementante cuando su proporción es del 2%, debido a que la resistencia temprana es mayor.

#### *Selva Alegre 10% Humo de sílice – 1, 2% Rheobuild, Sika*



**Figura No. 29 Selva Alegre 10% SF - 1, 2% Rheobuild y Sika**

En la figura se puede apreciar que de igual manera que pasó con el uso de 5% de humo de sílice, el rendimiento del aditivo Rheobuild ha mejorado considerablemente. Se observa que a los tres días las mezclas con este aditivo alcanzan entre 35 y 38 MPa y a los siete la diferencia es más corta, pues ambas dosificaciones están por los 40 MPa. Así mismo se observa que la diferencia de resistencias finales a los veintiocho días no es grande, a pesar de tener mayor relación agua-cementante, la dosificación con 1% es mayor en resistencia por cerca de 4%, por lo que conviene utilizar 1% de aditivo con el fin de obtener ventajas en cuanto a costos.

De igual forma, se puede apreciar que al utilizar 2% de Sika en la mezcla de hormigón con Selva Alegre, no existe mayor eficiencia por parte del humo de sílice, debido a que se obtienen prácticamente los mismos resultados en cuanto a resistencias tempranas entre tres y siete días, como lo demuestra la gráfica utilizando 1 y 2% de este aditivo. La diferencia radica en la relación agua-cementante, la cual es menor usando 1% de aditivo en un 9% con respecto a la que tiene la máxima proporción. No obstante, esto no se traduce en diferencias en cuanto a resistencias debido a que la máxima resistencia a los 28 días tiene la dosificación con 2% por tan solo en 5%, por lo que es más eficiente utilizar únicamente 1% de este aditivo cuando se trabaja con 10% de humo de sílice y cemento Selva Alegre.

Por tanto se puede decir que al usar 10% de humo de sílice con este cemento, se pueden utilizar los dos aditivos al 1%, debido a que representan ventajas en cuanto a costos y a resistencia tanto temprana como final, además no existe un beneficio considerable en cuanto a resistencia al utilizar 2% de estos aditivos.

Una vez que se ha analizado el comportamiento de los cementos fijando valores de aditivo y humo de sílice es necesario observar el comportamiento global de los cementos fijando únicamente el tipo de aditivo.

## Análisis cementos con Rheobuild.

### Cemento guapán.

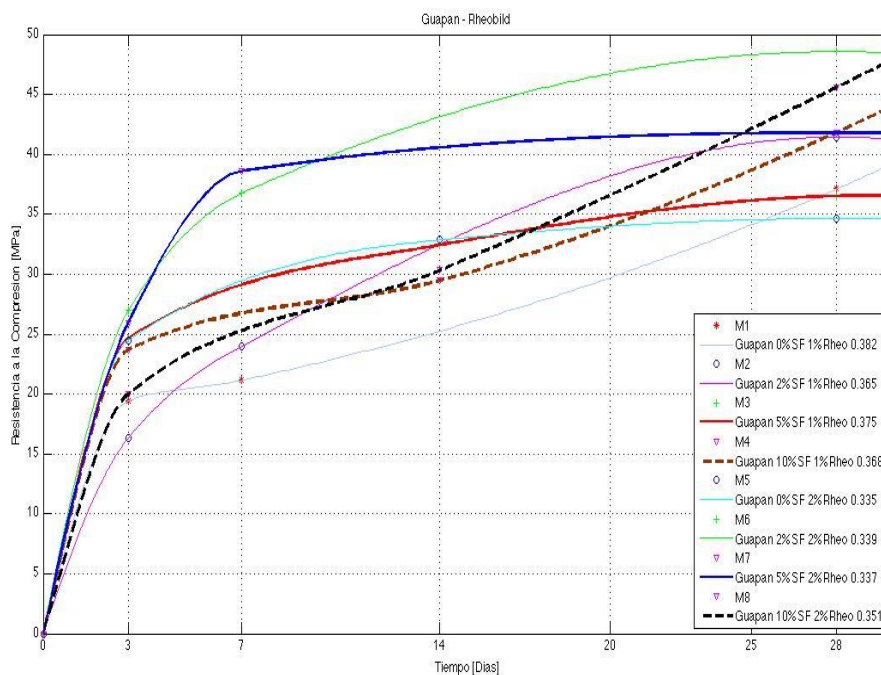


Figura No. 30 Cemento Guapán - Aditivo Rheobuild.

Lo que en primer lugar se puede observar en la gráfica es que las dosificaciones con 2% de aditivo tienen menores relaciones agua-cementante que las que contienen 1% de aditivo. Esto sucede gracias al aditivo que al estar presente en la mezcla en mayor proporción, actúa como reductor de agua.

Se puede notar además que en las dosificaciones con 1% de este aditivo, la resistencia en edades tempranas no es muy alta, varía entre 17 y 25 MPa a los tres días, mientras que a los siete la variación se encuentra entre 21 y 30 MPa. La dosificación con mejores resultados para el caso es la que utiliza 5% de humo de sílice, que alcanza mayor resistencia tanto a tres

como siete días. Sin embargo, se observa que el incremento de resistencia más veloz en este intervalo de tiempo se consigue utilizando 2% de humo de sílice.

En cuanto a resistencia a los 28 días se refiere, se puede apreciar que se consiguen las mejores prestaciones con las dosificaciones que tienen 2 y 10% de humo de sílice, cuya resistencia esta sobre los 40 MPa. Debido a esto, se puede decir que resulta más barato utilizar 2% de este cementante en la mezcla.

A su vez, las dosificaciones con 0 y 5% de humo de sílice muestran resistencias parecidas a los veintiocho días, al encontrarse sobre los 35 MPa, sin embargo se puede apreciar que a etapas tempranas hay mejor rendimiento al utilizar 5% del cementante.

Con respecto a la utilización de 1% de aditivo, se puede observar que existe mayor rendimiento en cuanto a resistencia a etapas tempranas al utilizar 2% de aditivo en mezclas de hormigón con 2 y 5% de humo de sílice. Por ejemplo, al comparar las dos dosificaciones con 5% del cementante, se puede apreciar que si bien a los tres días tienen casi el mismo valor de resistencia, a los siete días, la dosificación con 2% de aditivo tiene una resistencia 24% mayor. Además, resistencia final a los veintiocho días es 14% mayor al usar 2% de aditivo.

Se puede apreciar además que al utilizar 2% de aditivo sin contenido de humo de sílice, esta dosificación tiene mejores resultados en etapas tempranas que dosificaciones con 0, 2 y 10% de humo de sílice y 1% de aditivo, y tener resultados más o menos parecidos entre tres

y siete días que la dosificación con 5% del cementante y 1% de aditivo. Por esta razón, en cuanto a costos resulta mejor utilizar 2% de aditivo sin contenido de humo de sílice por sobre las dosificaciones mencionadas previamente.

Finalmente, se puede decir que la dosificación con 2% de humo de sílice y 2% de este aditivo obtiene los resultados más eficientes en cuanto a resistencia en etapas tempranas y a los veintiocho días. Se puede observar que la curva de esta mezcla de hormigón entre tres y siete días, asciende de 26 a casi 40 MPa, y a esto se suma el hecho de que su resistencia final se encuentra cerca de 50 MPa, obteniendo la mejor resistencia final de todas las mezclas de hormigón realizadas con Cemento Guapán. Por lo que no es necesario utilizar 10% de humo de sílice con 2% de aditivo debido a que el cementante no logra tener una buena hidratación y los resultados de resistencia están por debajo de la mezcla con 2 y 5% de humo de sílice.

### Cemento holcim.

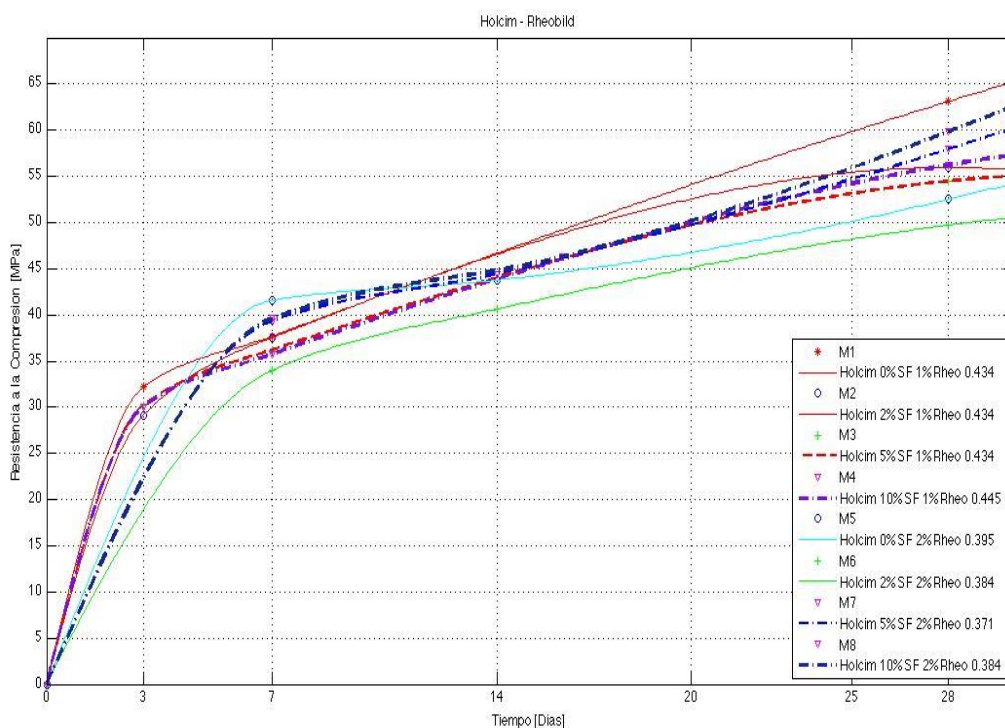


Figura No. 31 Cemento Holcim - Aditivo Rheobuild

Con respecto a la gráfica con cemento Guapan descrita anteriormente, se puede apreciar que con Holcim no existe tanta variabilidad en cuanto a resistencias tempranas se refiere, sin embargo la variabilidad se presenta a los veintiocho días, cuando el hormigón ha alcanzado su resistencia máxima. De igual forma que para el cemento Guapán, las relaciones agua-cementante son menores cuando se adiciona 2% del aditivo a la mezcla, debido a la capacidad reductora de agua que tiene el aditivo.

Se puede observar, en el caso de las dosificaciones realizadas con 1% de este aditivo, que la variabilidad de resistencias entre tres y siete días no es muy grande, debido que la resistencia a los tres días se encuentra por los 30 MPa y a los 7 días entre 35 y 40 MPa para



todos los casos. En cambio, al observar los resultados a los 28 días se puede ver que existe mayor variación, por ejemplo la resistencia a esta edad para la mezcla de hormigón sin contenido de humo de sílice es aproximadamente 11% mayor que las resistencias obtenidas con los porcentajes de humo de sílice de las otras mezclas, que son muy parecidos y se encuentran alrededor de 55 MPa.

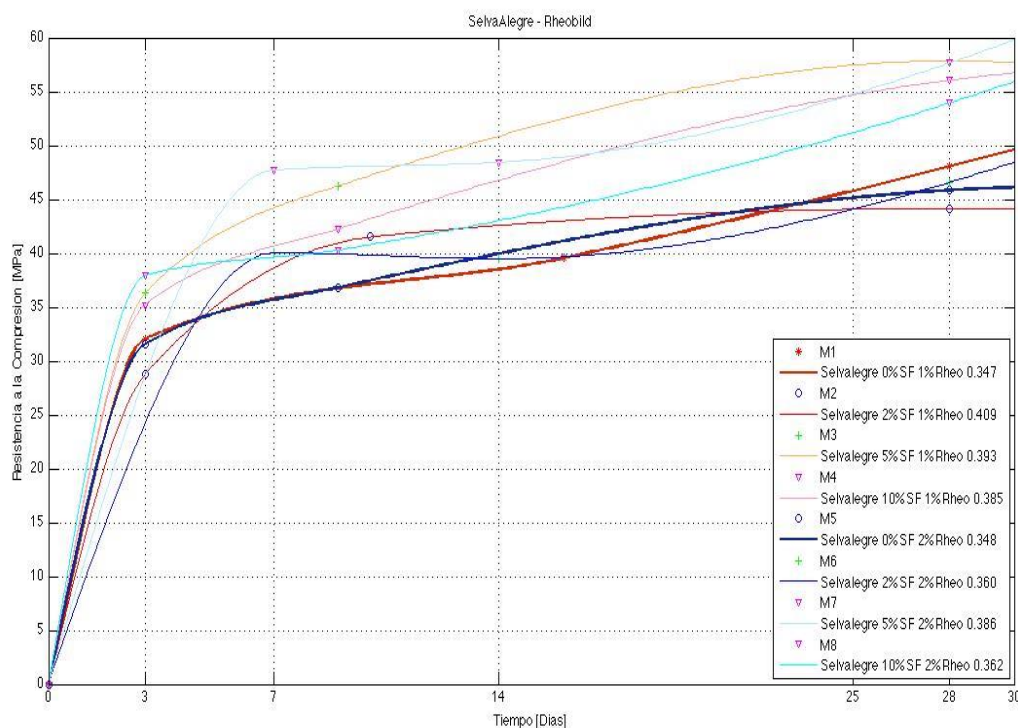
En el caso de las dosificaciones con 2% de aditivo, se puede apreciar que las curvas tienen mayor crecimiento en el intervalo de tres a siete días, en comparación con las curvas de las mezclas realizadas con 1% de aditivo. Se puede observar que el mejor rendimiento a estas etapas se obtiene con 2% de aditivo sin adicionar humo de sílice, debido a que alcanza los valores de resistencia más altos en este intervalo de entre las 4 mezclas de hormigón. Además la resistencia de esta mezcla a los siete días es la de mejor rendimiento de entre todas las dosificaciones hechas con cemento Guapán. Sin embargo, el valor de resistencia alcanzada a los 28 días no es tan alto como las dosificaciones con 5 y 10% de humo de sílice y 2% de aditivos, que alcanzan valores cercanos a 60 MPa. De la misma forma, se observa en la gráfica que el rendimiento menos óptimo de todas las mezclas de hormigón con Guapán es la dosificación que utiliza 2% de aditivo y humo de sílice, debido a que tiene las resistencias más bajas a tres, siete y veintiocho días.

Finalmente, en el caso de las dosificaciones con 5, 10% de sílice y 2% de aditivo, se puede ver que tienen un comportamiento parecido desde cero hasta casi veinte días, donde la curva de 10% tiene un ligero crecimiento mayor que la de 5%, sin embargo al llegar a los veintiocho días la diferencia de resistencia entre estas dos dosificaciones no es mayor al 5%,

por lo que se recomienda utilizar la dosificación de 5%, por las ventajas en costos que representa.

Por lo tanto, se puede decir que resulta más óptimo utilizar la dosificación de cemento Holcim con 0% de sílice y 1% de Rheobuild, por sobre la de 2% de aditivo con 5% de humo de sílice, debido a que presenta mayor incremento de resistencia en etapas tempranas (de cero hasta los 7 días), y que la resistencia final alcanzada es mayor a 60 MPa. Además representa grandes ventajas en cuanto a costo debido a que utiliza la mitad de la cantidad de aditivo y no se adiciona humo de sílice.

### ***Cemento selva alegre.***



**Figura No. 32 Cemento Selva Alegre - Aditivo Rheobuild**

Lo que se puede apreciar en la gráfica es que la tendencia de la relación agua-cementante baja para las dosificaciones que tienen 2% de aditivo se mantiene, a excepción de las mezclas sin humo de sílice, que tienen una relación agua-cementante igual, de 0.34.

Sin embargo, se puede apreciar que tanto para 1 como 2% de contenido de aditivo en las mezclas, con cemento Selva Alegre, las dosificaciones trabajan mejor cuando tienen los contenidos de humo de sílice más alto, es decir de 5 y 10%. En el caso de las dosificaciones con 1% de aditivo, se observa que tanto para 5 como 10% de contenido de sílice la resistencia a los tres y siete días es mayor que para las dosificaciones con 0 y 2% de este cementante, además la resistencia a los veintiocho días para estas dos dosificaciones se encuentra por sobre los 55 MPa, mientras que al usar 0 y 2% la resistencia no supera los 50MPa. Además se puede ver que el desarrollo de resistencia es mayor con la dosificación de 5% de humo sílice, por lo que esta es más económica.

En lo que respecta a las dosificaciones con 2% de aditivo, de igual forma se puede ver existen mejores resultados con las dosificaciones con 5 y 15% de humo de sílice, logrando mejores resultados de resistencia con la dosificación al 5%, debido a que en el intervalo de cero a siete días la resistencia se incrementa con mayor rapidez, a pesar de que esta es menor a los tres días que la dosificación hecha con 10% de este cementante. Además se puede observar que la resistencia de la mezcla con 5% tiene una resistencia a los veintiocho días mayor que la de 10% en un 6%, por lo que se le puede considerar de mayor eficiencia.

En el caso de las dosificaciones con 2% de aditivo y 0 y 2% de humo de sílice, ésta última tiene un crecimiento mayor de cero a siete días, por lo que se puede decir que el cementante cumple su función de incrementar la resistencia temprana. Sin embargo, la resistencia a los veintiocho días es prácticamente igual para los dos casos, al estar un poco arriba de los 45 MPa.

Por tanto se puede definir a las dosificaciones con 5% de humo de sílice como las más eficientes al usar cemento Selva Alegre, la elección del porcentaje de aditivo Rheobuild dependerá del costo, aunque se puede ver que hay mayor incremento de resistencias en etapas tempranas al utilizar el aditivo al 2%.

De la misma forma se analiza el comportamiento fijando el aditivo Sikament N-100.

## Cementos con sika.

### Cemento holcim – sika.

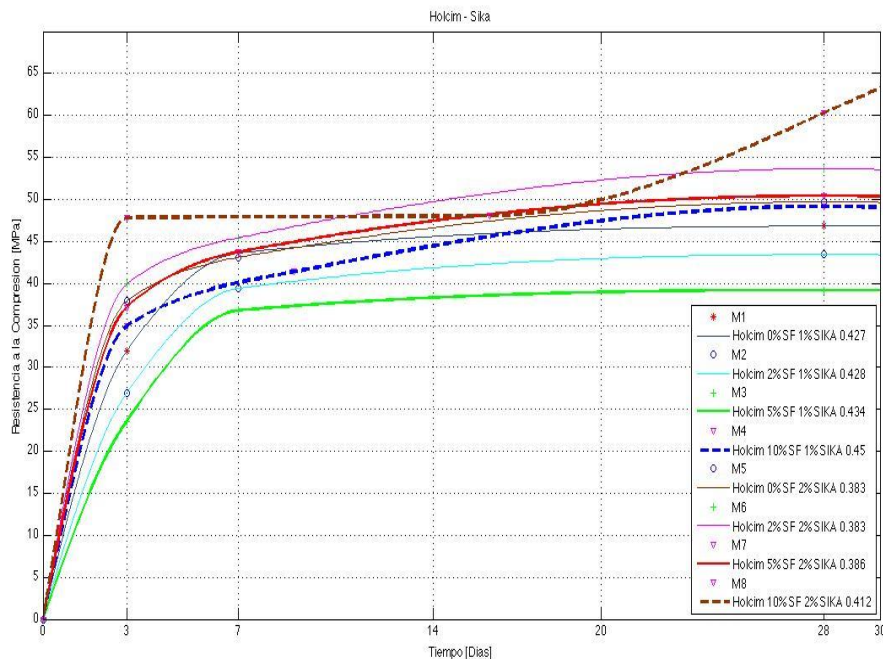


Figura No. 33 Cemento Holcim - Aditivo Sika.

Lo que se puede notar en primer lugar es que las relaciones agua-cementante que tienen las mezclas de hormigón con 2% de este aditivo son menores a las que contienen 1%. Esto se debe claramente a la capacidad reductora de agua del aditivo al ser utilizado en mayor cantidad. Algo que cabe mencionar es que las mayores relaciones agua-cementante se dan cuando se utiliza 10% de humo de sílice tanto para 1 como 2% de aditivo (de cada grupo).

En el caso de 1% de aditivo se puede apreciar que las mezclas con 2 y 5% de cementante son las menos óptimas, debido a que presentan los menores resultados de resistencia a los tres, siete y veintiocho días de todas las dosificaciones con cemento Holcim y aditivo Sika.

En el caso de la dosificación que no contiene humo de sílice se puede ver que tiene mayor incremento de resistencia en el intervalo de tres a siete días, el crecimiento es mayor que el de la mezcla con 10% de humo de sílice y a los veintiocho días, a pesar de que la dosificación con 10% desarrolla mayor resistencia, la diferencia es de sólo 6%, por lo que es más eficiente no utilizar humo de sílice cuando se trabaja con el aditivo al 1%, ya que representa un gran ahorro de costos.

En cuanto a las mezclas de hormigón con 2% de aditivo, se puede ver que las dosificaciones con 0% y 5% de aditivo tienen un comportamiento parecido alcanzando prácticamente el mismo valor de resistencia a los tres, siete y veintiocho días, por lo que no es óptimo utilizar 5% del cementante. Se puede observar que existen mayores prestaciones de resistencia cuando se utiliza 2% de humo de sílice debido a que si bien la diferencia de resistencias, aunque mayor, es pequeña en etapas tempranas respecto a las dosificaciones con 0 y 5% del cementante, la resistencia a los veintiocho días es de 6%, un porcentaje aceptable respecto al costo que representaría utilizar 5% de humo de sílice.

Sin embargo, la dosificación más eficiente se obtiene al utilizar 10% de humo de sílice, debido a que muestra las mayores prestaciones en cuanto a resistencias temprana y final, debido a que si bien el incremento de tres a siete días es mínimo, la resistencia alcanza 60 MPa a los veintiocho días, con respecto a la dosificación sin humo de sílice y 1% de aditivo la cual representa mayor eficiencia al utilizar esta cantidad de aditivo, la diferencia es notable, existe una diferencia de resistencia final de cerca de 22%, lo cual representa mayor rendimiento del hormigón cuando entre en operación.

### Cemento guapán – sika.

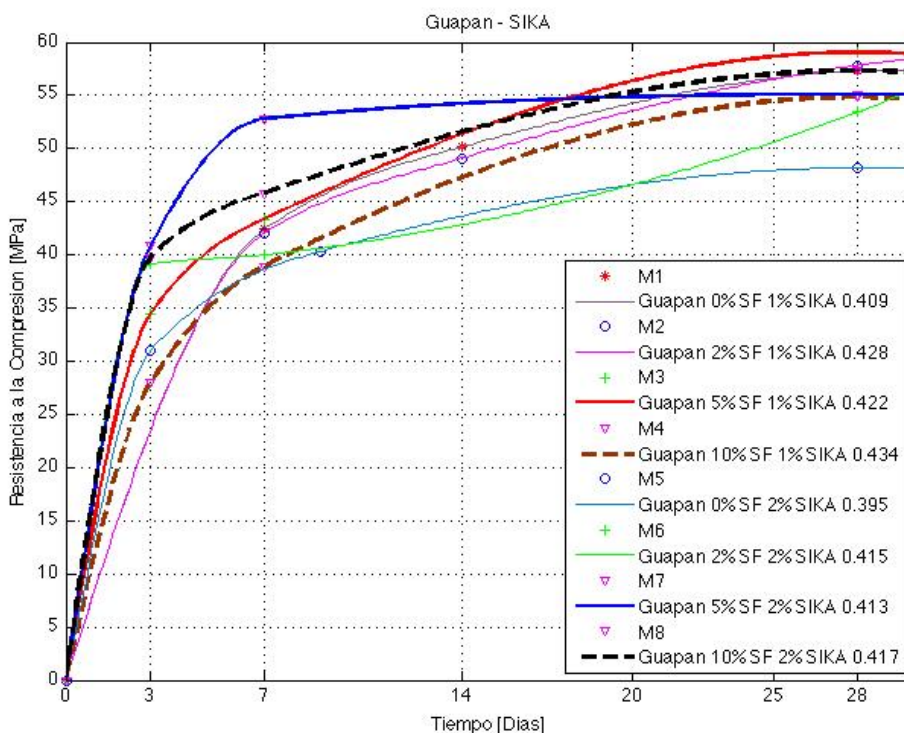


Figura No. 34 Cemento Guapán - Aditivo Sika.

En primer lugar se puede notar que las dosificaciones con 1% de aditivo tienen relaciones agua-cementante superiores a 0.40, llegando a un máximo de 0.43. Se puede observar que las dosificaciones con 0 y 2% de humo de sílice tienen un comportamiento parecido tanto a etapas tempranas como en la resistencia final a los veintiocho días. La resistencia entre tres y siete días aumenta cerca del 38%, al aumentar de 25 a 40 MPa. La resistencia que alcanza esta mezcla a los veintiocho días es superior a 55 MPa.

Por otra parte, se puede observar que existe mayor rendimiento en el hormigón al adicionar 5% de humo de sílice que 10%, al usar 1% de aditivo Sika. Se puede ver que la resistencia en etapas tempranas es claramente mayor con menor cantidad de humo de sílice, al ser la resistencia 19% mayor a los tres días, 12% mayor a los siete días, y de igual

forma la resistencia final alcanza valores más altos, al estar cerca de 60 MPa, sobre los 55MPa que alcanza la mezcla con 10% del cementante. Mediante estas observaciones se puede decir que la dosificación más efectiva es la que tiene 5% de humo de sílice debido a que con esta cantidad de cementante se obtienen mejores resultados de resistencia y se ahorra la mitad de material con respecto a la utilización de 10%. Además puede verse que es más eficiente debido a que reacciona todo el contenido de humo de sílice y existe mejor hidratación de este componente al reaccionar con el aditivo y el cemento.

Al analizar las mezclas con 2% de este aditivo, se puede apreciar en primer lugar que la mezcla que no contiene humo de sílice es la menos óptima, debido a que los resultados obtenidos en los intervalos de tres a siete días son menores que al usar humo de sílice y la resistencia final no supera los 50 MPa a pesar de que esta dosificación tiene la relación agua-cementante menor de todas las dosificaciones realizadas con cemento Guapán y aditivo Sika. Para las mezclas con 2, 5, 10% de humo de sílice por otra parte se puede observar que tienen un comportamiento parecido hasta los tres días, edad donde la resistencia de estas tres dosificaciones se encuentra por los 40 MPa. A partir de esta edad se evidencia que existe una gran diferencia en el desarrollo de la resistencia. Para el caso de 2% de cementante, el incremento de resistencia hasta los 7 días es insignificante, pero el desarrollo de resistencia hasta los veintiocho días se da de forma más veloz que las otras dosificaciones y al final alcanza valores cercanos a los 55 MPa.

Por su parte, la dosificación con 5% de humo de sílice y 2% de aditivo tiene los mejores resultados en cuanto a resistencia en etapas tempranas se refiere, debido a que muestra un



crecimiento en el intervalo de tres a siete días de 23% llegando hasta los 53 MPa, sin embargo, a partir de los siete días el crecimiento es mínimo hasta 55 MPa. En el caso del uso de 10% de humo de sílice se puede ver que a los veintiocho días alcanza el mismo valor de resistencia que la anterior mezcla, pero la resistencia a los siete días es 13% menor con respecto a esta, por lo que es más eficiente la utilización de 5% del cementante.

En definitiva, se puede decir que las dosificaciones con mayor eficiencia son las que utilizan 5% de humo de sílice; la elección de la proporción del aditivo dependerá del costo de la producción del hormigón y de la aplicación en obra, pues si se necesita trabajar con urgencia, la dosificación con 2% de aditivo es más útil debido a que desarrolla mayor resistencia en etapas tempranas.

### Cemento selva Alegre – sika.

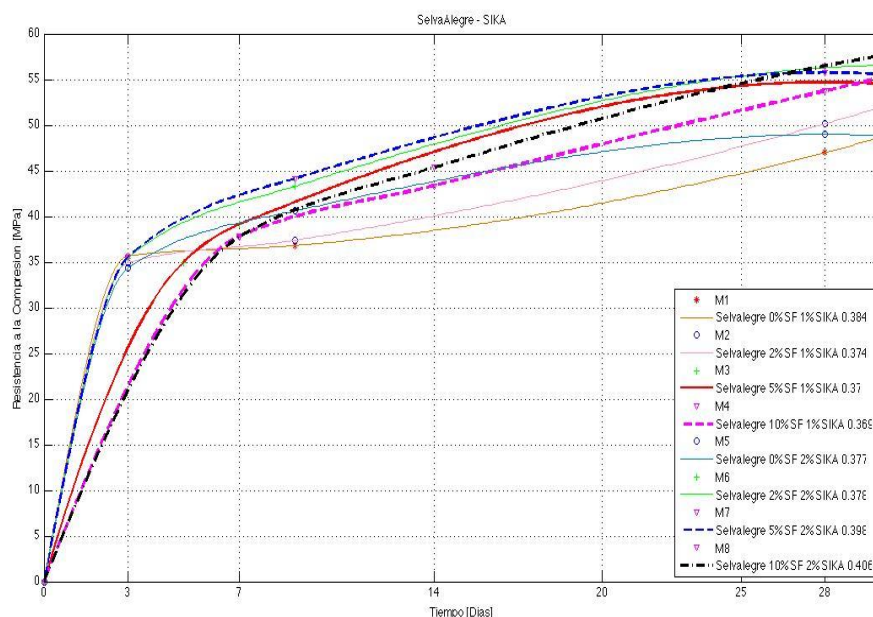


Figura No. 35 Cemento Selva Alegre - Aditivo Sika.

En primer lugar, se puede observar que las relaciones agua-cementante son parecidas para todas las dosificaciones sin importar el contenido de aditivo, todas se encuentran entre 0.37 y 0.39, a excepción de la dosificación con 10% de humo de sílice y 2% de aditivo Sika.

Al analizar las dosificaciones con 1% de aditivo, se observa que el menor rendimiento en cuanto a los tres días de da en las mezclas con 5 y 10% de sílice, cuyas resistencias se encuentran entre 20 y 25 MPa. Sin embargo se puede evidenciar que su crecimiento hasta los 7 días se da de forma violenta pues su resistencia a esta edad se encuentra entre 37 y 40 MPa, elevando la resistencia en aproximadamente 32%. En cambio, al analizar las mezclas con 0 y 2% de humo de sílice, se puede apreciar que el crecimiento mayor en cuanto a etapas tempranas se da a los tres días, donde estas las resistencias alcanzan un valor de 40

MPa. Sin embargo el crecimiento de tres a siete días es mucho menor, ya que no exceden los 45 MPa, por lo que el incremento de resistencia en este intervalo de tiempo es menor al 5%.

A la edad de veintiocho días, tiempo en el que se alcanza la resistencia máxima, se puede ver que se alcanzan mayores resistencias cuando se utiliza mayor cantidad de humo de sílice. En el caso de las mezclas con 5 y 10% de este cementante se puede ver que alcanzan resistencias cercanas a los 55 MPa, siendo la diferencia muy pequeña a favor de la dosificación con 5%. En cambio, para las dosificaciones con 0 y 2%, la resistencia se encuentra por los 50 MPa al usar 2% de sílice y 47 MPa sin contenido de este cementante. Por lo que se puede afirmar que al utilizar 1% de aditivo la dosificación de hormigón más efectiva es en la cual se ha adicionado 5% de humo de sílice, debido a que presenta un rápido crecimiento en etapas tempranas, y alcanza la mejor resistencia a los veintiocho días entre estas cuatro dosificaciones.

En cuanto a la adición de 2% de aditivo, se puede ver que existe mayor incremento de resistencia a los tres días al utilizar 0, 2, y 5% de humo de sílice, en estas dosificaciones la resistencia a esta edad se encuentra alrededor de 35 MPa, siendo casi 43% mayor a la resistencia alcanzada por la dosificación con 10% de humo de sílice, que alcanza 20 MPa. No obstante, el incremento de resistencia hasta los siete días de esta última dosificación es mayor comparado con las otras dosificaciones, pues en esta etapa alcanza 38 MPa, siendo el crecimiento mayor en casi 50% con respecto a los tres días. Para las dosificaciones con 0, 2 y 5% el incremento se da de forma más lenta hasta esta etapa pero siguen siendo valores más altos de resistencia que la dosificación con 10%. A los veintiocho días puede observarse que

las dosificaciones con 2, 5 y 10% alcanzan valores muy parecidos de resistencia al situarse por arriba de 55 MPa, en cambio la dosificación sin contenido de humo de sílice está por debajo de 50 MPa. Entonces se puede decir que las dosificaciones con 2 y 5% son más eficientes que al utilizar 10% de humo de sílice, debido al ahorro de este material que representan y a que desarrollan resistencias mayores a etapas tempranas que esta última.

Finalmente, se puede decir que las dosificaciones con 2% son las más óptimas al utilizar cemento Selva Alegre, la elección del porcentaje de aditivo Sika para la mezcla dependerá del costo y de la necesidad de obtener resistencias tempranas más elevadas en obra, donde la adición de 2% de este aditivo resulta más útil.

Finalmente se realizará una comparación entre los cementos para observar su comportamiento entre sí.

## Cementos con uso de aditivo rheobuild 1000.

### Guapán, holcim, selva Alegre - 0% humo de sílice – 1, 2% rheobuild.

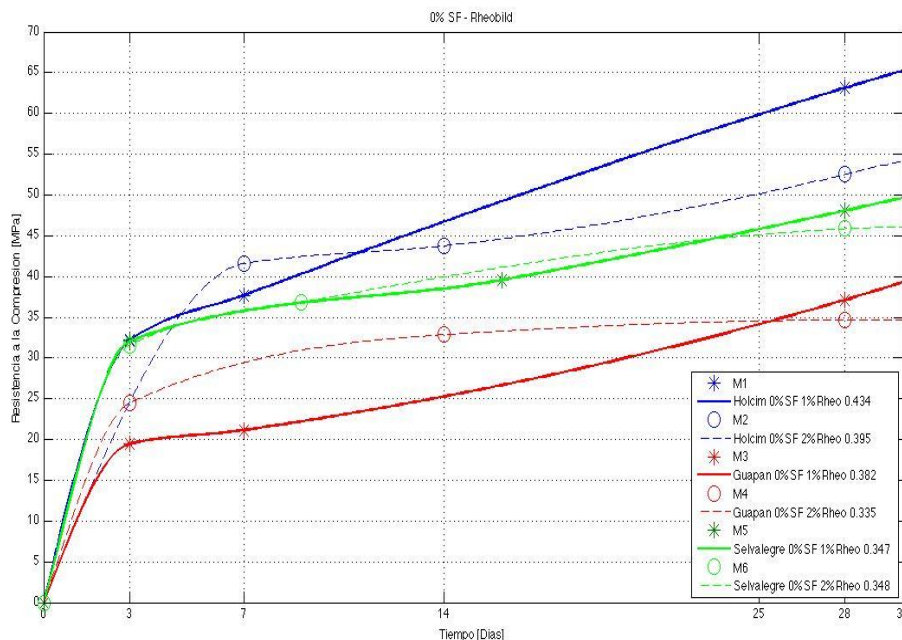


Figura No. 36 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 0% SF - 1, 2% Rheobuild.

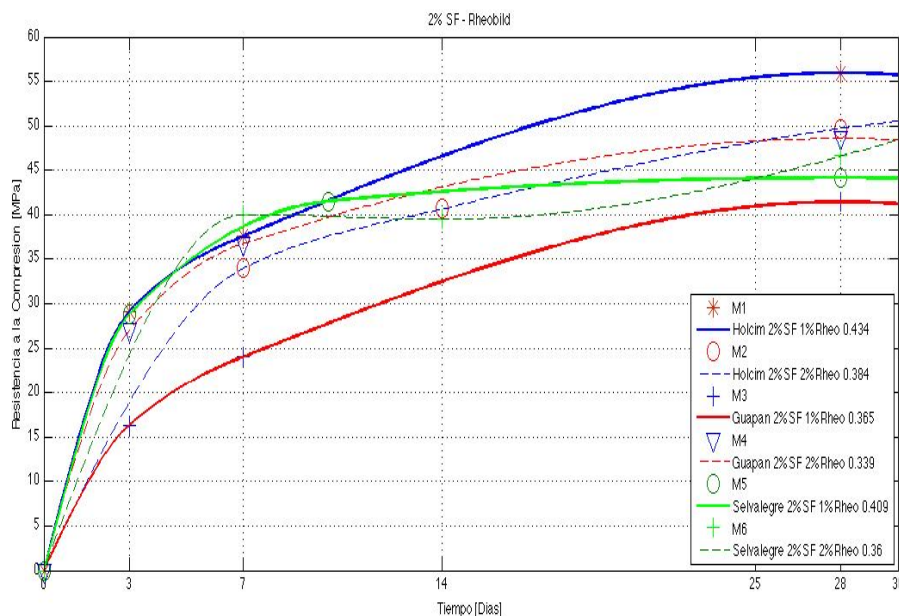
En la gráfica se puede observar que las mejores al no utilizar humo de sílice, las mejores prestaciones se obtienen usando cemento Holcim, debido a que es aquel que alcanza mayores resistencias tanto en etapas tempranas como a los 28 días. Es importante recalcar que esto se ha logrado a pesar de tener las relaciones agua-cementante más altas utilizando este aditivo. Cabe resaltar también que a pesar de que la dosificación con 1% tiene mayor relación, su resistencia final a los 28 días es mayor un 17%. Sin embargo, en etapas tempranas existe mayor incremento de resistencia utilizando 2% de este aditivo con Holcim.

En el caso del cemento Selva Alegre, se puede observar en la gráfica que no existe una diferencia apreciable entre usar 1 o 2% de aditivo cuando no se utiliza humo de sílice,

debido a que desarrollan valores muy parecidos entre si entre cero y siete días. Además, la diferencia entre resistencias a los 28 días no excede el 5%, además de ubicarse entre 40 y 45 MPa con relaciones agua cemento más bajas que Holcim, alrededor del 20% por debajo, lo cual no necesariamente indica que se ha logrado mayor resistencia, tal como lo muestra la gráfica.

En lo que se refiere a Guapán, como se ha visto en gráficas referentes a este cemento, se evidencia que cuanto el contenido de humo de sílice es bajo o no contiene este material, el aditivo Rheobuild no ayuda al desarrollo de la resistencia, sin embargo puede incrementar la trabajabilidad. Según los resultados expuestos en la gráfica, se observa que el cemento tiene las prestaciones más bajas con respecto a los otros dos cementos, tanto para etapas tempranas como a los veintiocho días. Los resultados para resistencia a la compresión no exceden los 35 MPa a los 28 días, lo cual es interesante debido a que la mezcla con 2% tiene la relación agua-cementante más baja de todas las dosificaciones en la gráfica.

**Guapan, holcim, selva alegre - 2% humo de sílice – 1, 2% rheobuild.**



**Figura No. 37 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 2% SF - 1, 2% Rheobuild.**

Al igual que en la gráfica anterior, se observa en la presente que la mayor resistencia final se obtiene con el uso de cemento Holcim, 2% de humo de sílice y 1% de aditivo Rheobuild, a pesar de que esta mezcla de hormigón tiene la relación agua-cementante más alta del grupo. Se puede observar además, que a diferencia de las mezclas de Holcim sin humo de sílice, al utilizar el 2%, la resistencia a etapas tempranas es menor a la resistencia que desarrolla la mezcla con 1% en dichas etapas. Sin embargo, el incremento de resistencia se da de forma más veloz, debido a que las pendientes son más pronunciadas con un 2%.

En lo que se refiere al cemento Selva Alegre, se puede ver que la tendencia con respecto a realizar la mezcla sin humo de sílice es la misma. En las etapas de cero a 7 días, las resistencias no tienen diferencias apreciables al igual a los veintiocho días, donde la

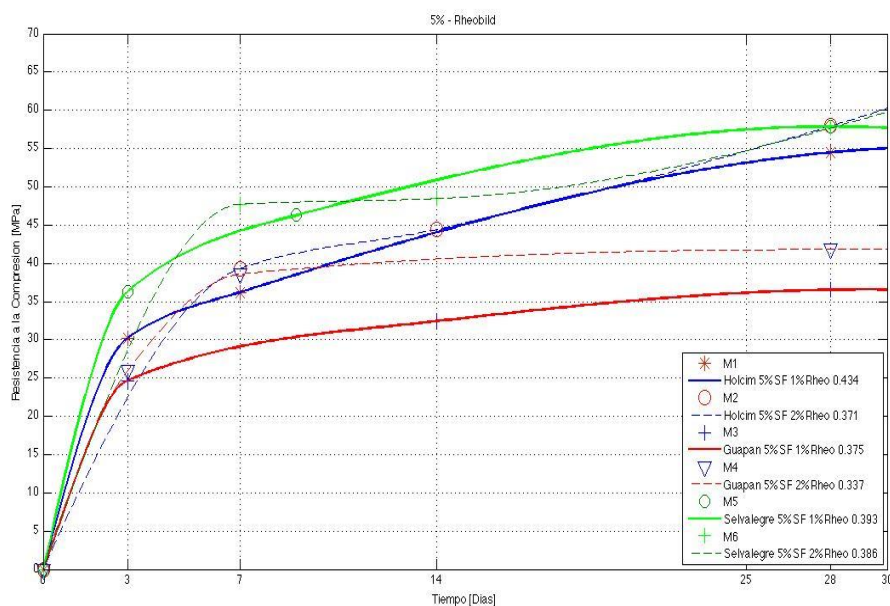
diferencia entre resistencias no excede el 5% y se encuentra alrededor de 45 MPa, razón por la cual en cuanto a costos sería más conveniente utilizar sólo 1% de este aditivo.

Para el caso del cemento Guapan, existen varias diferencias con respecto a la gráfica anterior. En primer lugar se puede notar que existe un mejor rendimiento en la resistencia del hormigón cuando se utiliza el 2% de este aditivo. Las resistencias tempranas de cero a siete días tienen valores parecidos a los valores de la curva perteneciente a Holcim con 1% de aditivo, la cual es la dosificación de mayor resistencia. Es importante resaltar que esto se logra gracias a la capacidad reductora de agua del aditivo que se ve reflejada en la relación agua-cementante baja, que es de 0.339 y ciertamente influye en el incremento de la resistencia conjuntamente con el porcentaje de humo de sílice. Como se puede apreciar en la gráfica, el menor rendimiento en cuanto a resistencias tempranas tiene la dosificación con Guapan y 1% de aditivo pues el incremento de resistencia a través del tiempo es el de mayor lentitud en la gráfica, y la resistencia final no supera los 45 MPa. Esto se debe a que 1% de aditivo no es suficiente para la correcta hidratación de la pasta de cemento cuando se utiliza este cemento con 2% de humo de sílice, lo cual afecta su resistencia.

En definitiva, la dosificación más óptima para 2% de humo de sílice y el súper-plastificante Rheobuild 1000 es aquella con 1% de dicho aditivo y cemento Holcim GU.



**Guapan, holcim, selva alegre - 5% humo de sílice – 1, 2% rheobuild.**



**Figura No. 38 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 5% SF - 1, 2% Rheobuild**

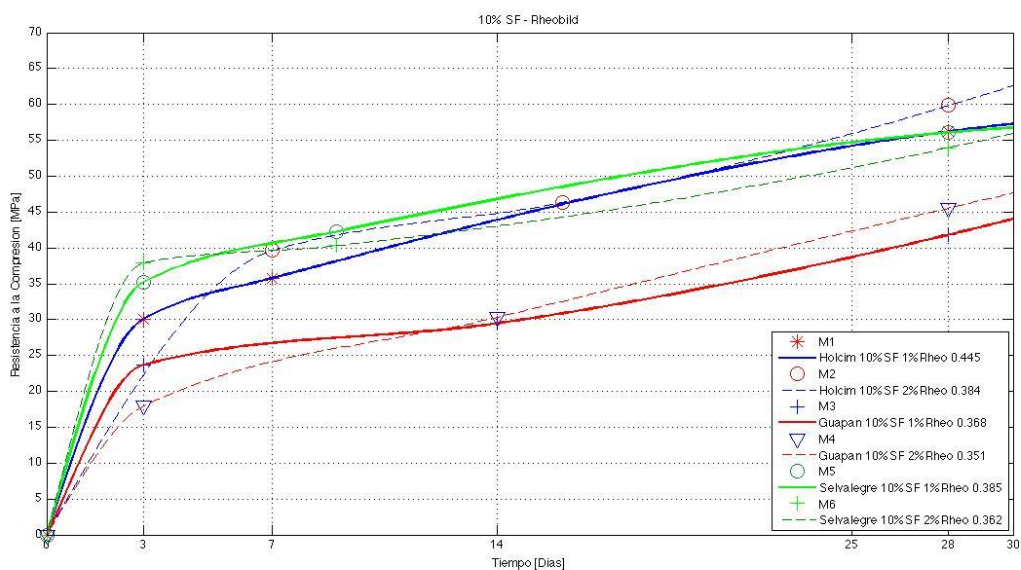
En el caso de Holcim, se puede apreciar que la dosificación con 1% de aditivo mantiene cierta similitud que la curva de 2% de humo de sílice, mostrada en la gráfica anterior, por lo que se puede decir que por el momento no hay variación en el rendimiento de este cemento al adicionar humo de sílice hasta el 5%. En el caso del 2% de aditivo para este cemento, se puede apreciar que ahora tiene un crecimiento de resistencia más rápido con respecto a usar 1% de aditivo cuando se trata de etapas tempranas, es decir de cero hasta los siete días. A pesar de esto, la diferencia de resistencias a los veintiocho días no excede el 5%, la gran diferencia reside en el comportamiento en etapas tempranas, donde la dosificación con 2% de aditivo funciona de mejor manera. A esto se suma, que la relación agua-cementante de esta última es menor, lo que explica que esta dosificación sea más óptima.

Para el cemento Selva Alegre, se puede decir que existe mejor rendimiento al adicionar humo de sílice con respecto a las mezclas sin y con 2% de dicho cementante. Se observa que existe mayor incremento de resistencias en etapas tempranas al usar 2% de Rheobuild en lugar de 1%. La resistencia a los veintiocho días es prácticamente la misma, por lo que el rendimiento del hormigón depende de su resistencia en etapas tempranas, en la cual, como se explicó antes, resulta más efectiva al adicionar 2% del aditivo a la mezcla. Sin embargo, se puede notar que la relación agua-cementante de estas dos dosificaciones no tiene una diferencia apreciable, por lo que en cuanto a costos, utilizar 1% de aditivo sería más óptimo.

Para el cemento Guapan, se puede evidenciar el mismo comportamiento al usar aditivo al 1%, que al utilizar cantidades menores de humo de sílice. El rendimiento en cuanto a resistencia es el menor de todas las dosificaciones al 5% de este cementante, ya que no logra superar los 40 MPa a los veintiocho días. En el caso de la mezcla con 2% de aditivo, se observa que tiene mejores resultados de cero a siete días, siendo la resistencia mayor alrededor del 16% con respecto a la mezcla con 1% a esta última edad. Sin embargo, la resistencia a partir de los siete días no crece a gran magnitud e incluso es menor que la resistencia de esta misma mezcla con 2% de humo de sílice. Se mantiene además la tendencia de tener la relación agua-cementante más baja.

Dicho esto, se puede evidenciar que la dosificación con cemento Selva Alegre y 2% de Rheobuild, funciona de forma más efectiva al adicionar humo de sílice en 5% del peso del cemento.

**Guapan, holcim, selva alegre - 10% humo de sílice – 1, 2% rheobuild**



**Figura No. 39 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 10% SF - 1, 2% Rheobuild**

Para el 10% de humo de sílice, se puede ver que en el caso del cemento Holcim, existe variación en el rendimiento del aditivo con respecto a porcentajes del cemento menores. Por ejemplo se puede ver que la mezcla con 2% de aditivo tiene incremento de resistencia de forma más veloz en etapas tempranas, pues de tres a siete días la resistencia aumenta cerca de 42%, mientras que para el 1% de aditivo la resistencia aumenta sólo un 17%. Además la resistencia a los 28 días es mayor al utilizar 2% de aditivo, lo cual sólo sucede al utilizar cantidades humo de sílice mayores a 5%, lo cual demuestra que para un correcto desempeño del humo de sílice con 2% de aditivo en este cemento, no se deben usar pequeñas cantidades.

Para las mezclas de hormigón con cemento Selva Alegre, se puede ver que tienen el mismo comportamiento en etapas tempranas, debido a que la diferencia de sus resistencias entre cero y 7 días es mínima. A partir de esta edad, el incremento de la resistencia se da de

forma más rápida en la dosificación con 1% de aditivo, pero a los 28 días de igual manera esta diferencia de resistencias no es de consideración, pues oscila entre 48 y 52 MPa.

En el caso de Guapan, se obtienen las más bajas prestaciones en cuanto a resistencia temprana y final tanto con 1 y 2% de aditivo, las resistencias a los veintiocho días apenas superan los 40 MPa. Si bien la resistencia a los tres días por parte de la dosificación con 1% es mayor en casi 14% a la dosificación con 2% de aditivo, a los siete días esta diferencia es menor al 5%, y a los 28 días la resistencia de la mezcla con 2% la supera con e 8%. Esto puede deberse a la calidad del aditivo como reductor de agua, debido a que la relación agua-cementante es menor para la mezcla con 2% de aditivo (tendencia que se ha mantenido sin importar la cantidad de humo de sílice).

Al analizar esta gráfica, se puede deducir que las dosificaciones más efectivas son la de cemento Holcim con 2% de aditivo, y la de cemento Selva Alegre con 1% de aditivo. No obstante, se puede decir que es más óptima utilizar la mezcla de Selva Alegre debido a que utiliza menor cantidad de aditivo y tiene mejor rendimiento en etapas tempranas que la mezcla con Holcim.

## Cementos sika.

### Cementos guapán, holcim, selva alegre 0% humo de sílice – 1, 2% sika.

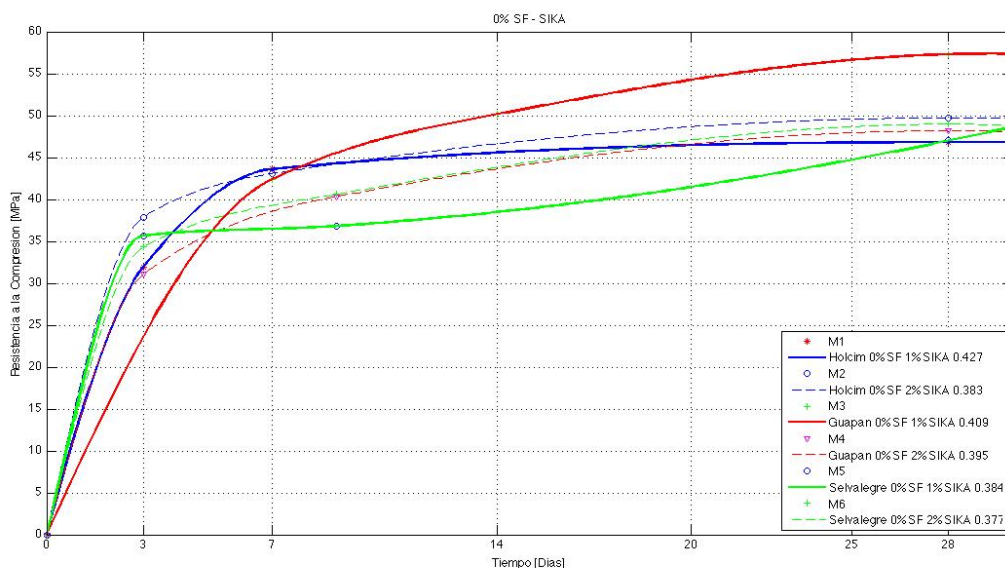


Figura No. 40 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 0% SF - 1, 2% Sika.

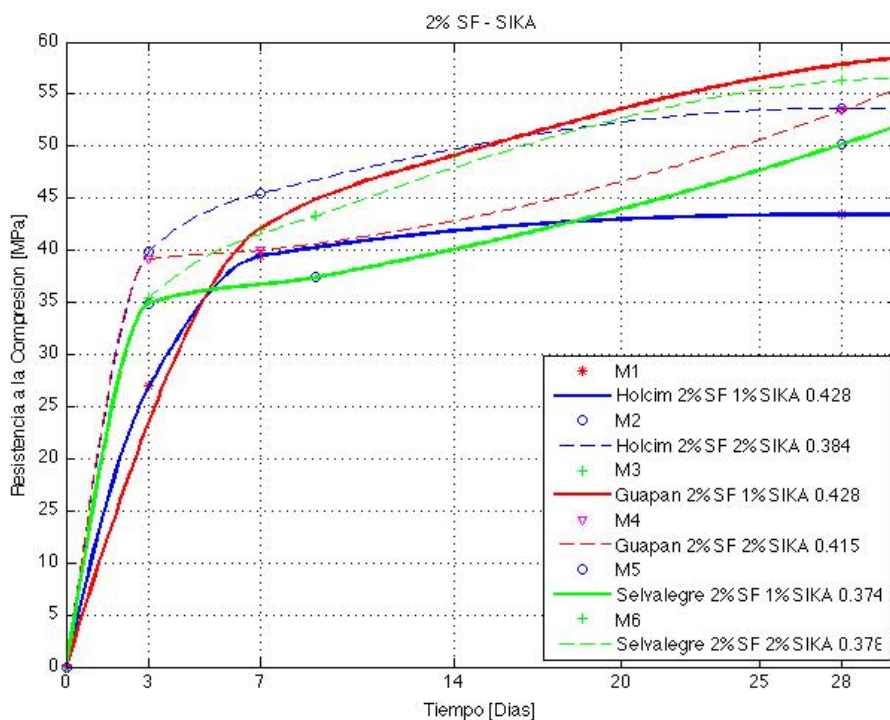
Lo primero que se puede apreciar en el gráfico es que en el caso de los tres cementos, las dosificaciones con 1% de aditivo tienen relaciones de agua-cementante mayores que las dosificaciones con 2% de aditivo. Esto se debe a que en el caso de utilizar 2%, el aditivo funciona como reductor de agua de alto rango, lo cual permite disminuir la relación.

Al analizar las curvas de cemento Holcim, se observa que existe una diferencia de resistencia de 16% a los tres días siendo mayor la dosificación con 2%, sin embargo a los siete días la diferencia es casi inexistente. Se puede observar que el incremento de resistencia a partir de los siete días es mayor para la dosificación con 2% de aditivo y la diferencia con la resistencia final de la dosificación que contiene 1% de aditivo es de 8%.

Para el cemento Selva Alegre, se puede notar que el comportamiento de las curvas es casi igual de cero a tres días. A partir de ahí, la curva de 2% crece de forma más rápida y alcanza un valor final a los veintiocho días cercano a 50 MPa, existiendo una diferencia menor al 5% con respecto a la resistencia alcanzada por la dosificación con 1%.

Cabe resaltar que para el caso de Holcim y Selva Alegre, las dosificaciones con 2% de aditivo tienen mejores resultados a los 28 días, aunque la diferencia sea mínima. Esto no sucede en el caso del cemento Guapán, debido a que como se puede observar en la gráfica, existe mejor rendimiento al utilizar 1% de aditivo Sika cuando no se utiliza humo de sílice. La razón de esto es que en los intervalos de cero a tres y de tres a siete días el incremento de resistencia es mayor que cuando se utiliza 2% de aditivo, aun teniendo una relación de agua-cementante mayor. Además, se puede observar en la gráfica que la curva de Guapán con 1% de aditivo es la que alcanza mayor resistencia a la compresión a los 28 días. Por lo que se puede decir que con esta dosificación se puede ahorrar un gran volumen de aditivo y obtener resultados más óptimos a distintas edades del hormigón.

**Cementos guapán, holcim, selva alegre 2% humo de sílice – 1, 2% sika.**



**Figura No. 41 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 2% SF - 1, 2% Sika.**

Lo que se puede notar en primer lugar a diferencia de la gráfica anterior, es que existe una gran diferencia entre el rendimiento de las mezclas de Holcim con 1 y 2% de este aditivo. Puede notarse por ejemplo, que el rendimiento de la mezcla con 1% es mucho menor tanto a resistencias a los tres y siete días, como en la resistencia final, donde la mezcla con 2% es de 19%. A esto se suma que la dosificación con 1% tiene una relación de agua-cementante mayor, lo que explica su menor resistencia.

En el caso de cemento Selva Alegre, al igual que la gráfica de curvas sin humo de sílice, podemos observar que las dosificaciones tienen un comportamiento prácticamente igual hasta los tres días. A partir de esa edad, la curva de 2% se dispara hasta alcanzar una

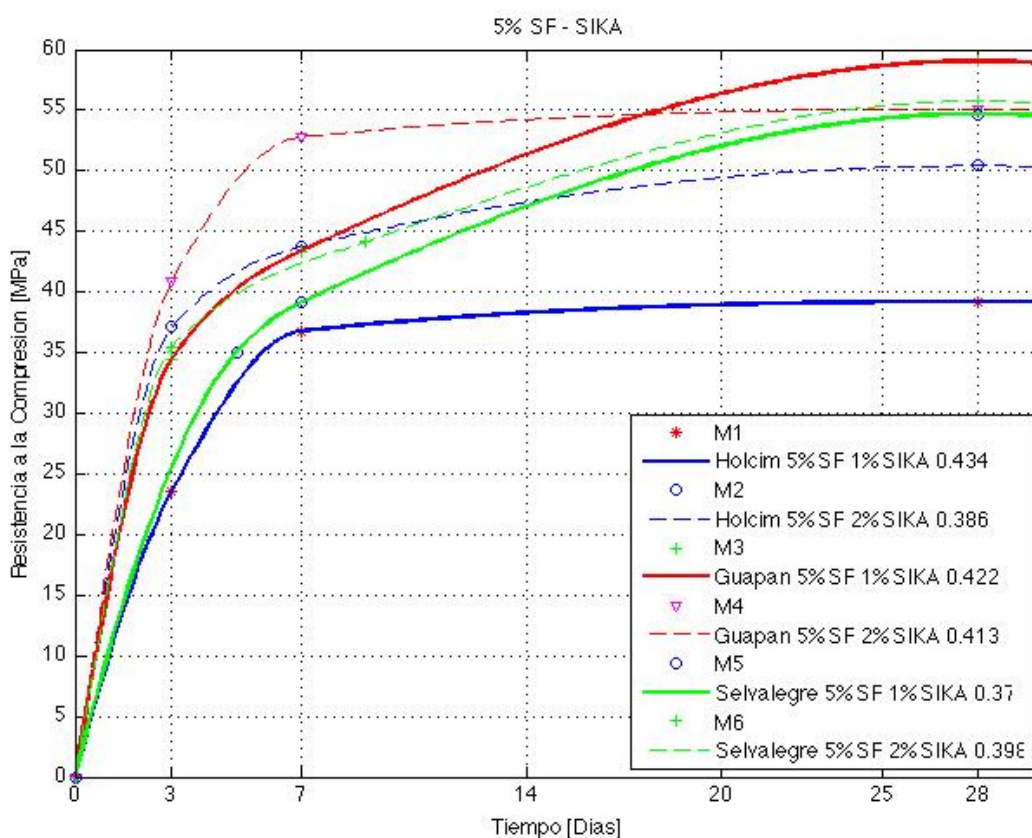
resistencia superior a los 55 MPa a los veintiocho días. En cambio, la curva de 1% de aditivo tiene un incremento más lento y alcanza solamente 50 MPa a los veintiocho días, 11% por debajo de la resistencia final al 2% de aditivo.

Al analizar las curvas pertenecientes a la mezcla de hormigón hecha con cemento Guapán, se aprecia que la curva de 2% de aditivo alcanza a los tres días una resistencia a la compresión de casi 40 MPa, mientras que la resistencia alcanzada por la curva con 1% de aditivo está cerca de los 25 MPa a ese mismo tiempo. A pesar de esta diferencia, se observa que la curva con 1% tiene mayor incremento de resistencia a partir de los tres días, pues a los siete alcanza 47 MPa y a partir de ahí el incremento de resistencia se da a mayor velocidad que para la curva de 2%. Al final, a los 28 días esta resistencia sigue siendo mayor por una diferencia de 8%, por lo que se puede decir que es más óptimo en cuanto a ahorro de material y desarrollo de resistencia la utilización de únicamente 1% de aditivo en el caso de usar cemento Guapán.

Debido a que el comportamiento de la dosificación de Selva Alegre con 2% de aditivo y de cemento Guapán con 1%, la elección depende del costo que tiene producir estas dos mezclas de hormigón. En un principio, sería más óptimo utilizar cemento Guapán debido a que es menos costosa al utilizar 1% de aditivo, aunque utilice mayor cantidad de agua.



**Cementos guapán, holcim, selva alegre 5% humo de sílice – 1, 2% sika.**



**Figura No. 42 Cemento Guapán, Holcim, Selva Alegre 5% SF - 1, 2% Sika.**

Lo primero que se puede notar en la gráfica es que la dosificación con de Holcim con 1% de aditivo sigue la tendencia de las anteriores mezclas con la misma cantidad de aditivo. Es la dosificación menos óptima al utilizar 5% de humo de sílice tanto en etapas tempranas como a los veintiocho días, incluso alcanzando el menor valor de resistencia para este tipo de dosificación (1% de aditivo), estando por debajo de los 40 MPa. Ante esto, se puede evidenciar que existe una mejora notable del rendimiento al utilizar este cemento con la misma cantidad de humo de sílice y 2% de aditivo, porque las prestaciones de resistencia tanto a tres y siete días como a los veintiocho son mayores. En el caso de la resistencia a los veintiocho días es de 22%. Este rendimiento más eficiente se puede explicar en la baja

relación agua-cementante (11% menor) originada por el uso del aditivo al 2%, el cual actúa de mejor forma en compañía con el humo de sílice, que puede llegar a tener mejor hidratación y generar mayor adherencia en la zona de transición.

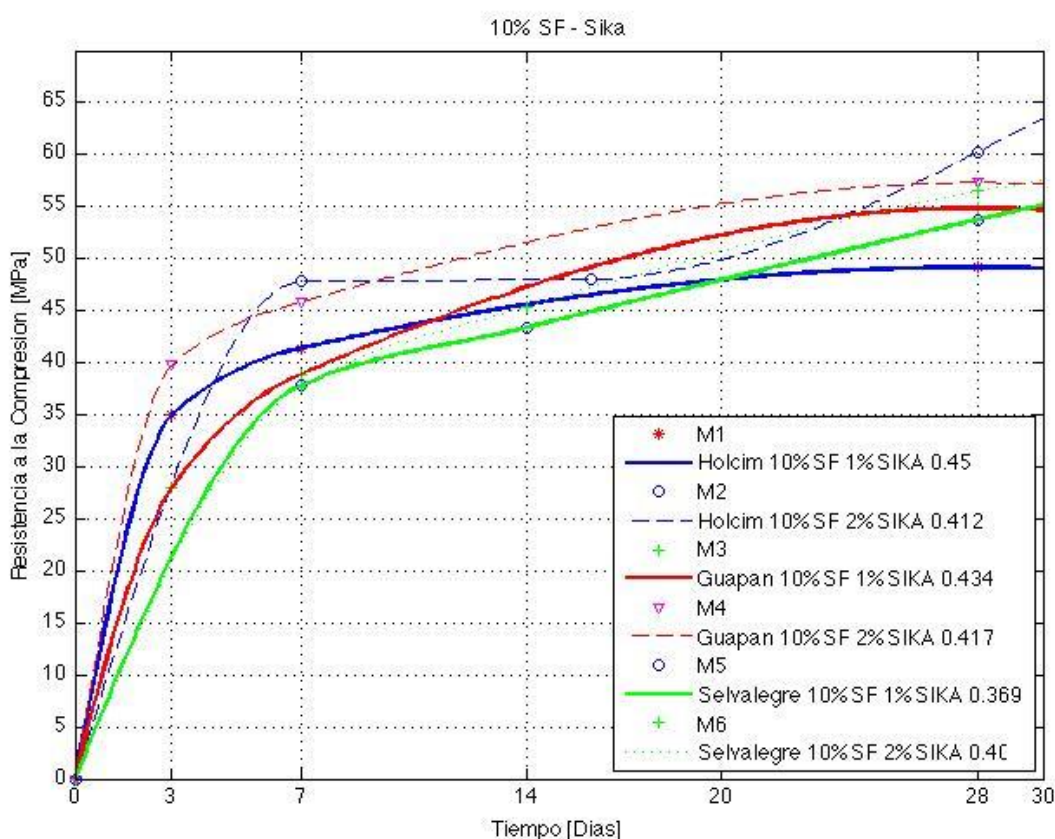
En cuanto a la utilización de cemento Selva Alegre, se puede notar que la mayor diferencia entre la proporción de aditivo se da a los tres días, cuando la dosificación con 2% es mayor casi por 30%. A partir de los tres días la diferencia, como se ve en la gráfica, se va acortando hasta los 28 días, cuando las dos mezclas rondan el mismo valor, es decir 55 MPa. La principal diferencia es el rendimiento a etapas tempranas, donde la mezcla con 2% de aditivo funciona mejor, a pesar de tener mayor relación agua-cementante.

Para Guapán hay diferencias más grandes con respecto a otras las cantidades de humo de sílice que se han utilizado anteriormente. Se observa notablemente que existe mejor rendimiento en etapas tempranas cuando se usa 2% del aditivo, mientras que al usar 1% del aditivo se consiguen mejores resistencias finales. Se puede ver, por ejemplo que a los tres días la diferencia de resistencias es de casi 15%, mientras que a los siete días la diferencia crece y es de aproximadamente el 20%. En cambio, a los veintiocho días la diferencia es aproximadamente de 5% a favor de la dosificación con 1% de aditivo, una diferencia no muy grande, por lo que la eficiencia de estas dosificaciones se determina mediante su resistencia a etapas tempranas, en la que la mezcla con 2% de aditivo resulta mejor.

Por tanto, se puede decir que esta última mezcla de Guapán con 2% de aditivo al usar 5% de humo de sílice resulta más eficiente debido a su alto rendimiento a edades tempranas y

una resistencia aceptable a los 28 días, a pesar de tener mayor relación agua-cementante que las dosificaciones con cemento Selva Alegre, sin embargo, el rendimiento a los tres y siete días por parte de estas mezclas es notablemente menor que al usar la dosificación de cemento Guapán.

**Cementos guapán, holcim, selva alegre 10% humo de sílice – 1, 2% sika.**



**Figura No. 43 Cementos Guapán, Holcim, Selva Alegre 10% SF - 1, 2% Sika.**

Lo que se puede apreciar con respecto a las gráficas anteriores, es que si bien la dosificación con Holcim y 1% de aditivo es la que menos resultados en cuanto a resistencia a los 28 días obtiene, ha mejorado su rendimiento en cuanto a resistencias tempranas se refiere. Por ejemplo sus valores de resistencia a los tres y siete días son mayores a las

dosificaciones de cemento Selva Alegre y la dosificación de Guapán con 1% de este aditivo. Además se puede ver que a los tres días esta mezcla ha ganado mayor resistencia que la mezcla de 2% con este mismo cemento, sin embargo a los siete días y en adelante la mezcla con 2% genera mejores resultados de resistencia. A los 28 días, la dosificación elaborada con 2% de aditivo ha ganado 18% más de resistencia que la realizada con 1%. De hecho es la dosificación que más resistencia ha ganado al ser hecha con aditivo Sika y 10% de contenido de humo de sílice. Esto se debe principalmente a la diferencia de relaciones de agua-cementante, en la cual la dosificación con mayor contenido de aditivo es cerca de 8% menor con respecto a la relación de 1%, por lo que sus resultados de resistencia son mayores.

Al analizar las mezclas realizadas con cemento Selva Alegre, se observa que existe nuevamente la tendencia a presentar iguales resultados de resistencia en etapas tempranas hasta los siete días. A partir de esta edad, la mezcla con 2% de aditivo tiene un crecimiento mayor pero no de magnitud considerable comparándolo con la dosificación realizada con 1%. Es más, a los 28 días esta dosificación con 2% supera con tan sólo 5% a la que contiene 1% de Sika.

Para el caso de cemento Guapán, se puede evidenciar que la diferencia entre las dos mezclas reside en etapas tempranas de resistencia, debido a que la resistencia es mayor tanto a los tres como siete días al utilizar 2% de aditivo, sin embargo a partir de los siete días las diferencias de resistencia son más pequeñas y a los veintiocho días la diferencia de resistencia no es mayor al 5%. Pese a esto, se debe considerar a la dosificación con 2% de mayor eficiencia debido a que su resistencia es mayor a los tres y siete de días, siendo 32 y

18% respectivamente. Además la relación agua-cementante es ligeramente menor en el caso de la mezcla que utiliza mayor cantidad de aditivo.

Ante esto, se puede deducir que las dosificaciones más eficientes son las que utilizan 2% de aditivo para cemento Guapán y Holcim, ya que la primera tiene valores altos de resistencias a etapas tempranas y un valor aceptable de resistencia a los 28 días. Mientras que la dosificación realizada con cemento Holcim tiene la resistencia más alta al utiliza 10% de contenido de humo de sílice. La elección del cemento dependerá de factores como el costo.

## Discusión

Una vez que se ha estudiado a profundidad el comportamiento de los cementos en cuanto a desempeño es necesario estudiar el costo por metro cúbico de cada uno. De acuerdo al costo que tienen los mismos se podrá tomar una decisión final en cuanto a que cemento produce la mejor mezcla, siendo ésta la mejor alternativa. A continuación, se ha encontrado el costo por metro cúbico para cada una de las dosificaciones:

| <b>Dosificación</b>    | <b>Cemento</b> | <b>Aditivo</b> | <b>Porcentaje</b> | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| <b>Dosificación 1</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 0%                    | \$ 111,12       |
| <b>Dosificación 2</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 2%                    | \$ 113,56       |
| <b>Dosificación 3</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 5%                    | \$ 122,06       |
| <b>Dosificación 4</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 1%                | 10%                   | \$ 134,69       |
| <b>Dosificación 5</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 0%                    | \$ 128,09       |
| <b>Dosificación 6</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 2%                    | \$ 130,56       |
| <b>Dosificación 7</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 5%                    | \$ 140,18       |
| <b>Dosificación 8</b>  | Holcim GU      | Rheobuild 1000 | 2%                | 10%                   | \$ 153,29       |
| <b>Dosificación 9</b>  | Holcim GU      | Sikament N100  | 1%                | 0%                    | \$ 112,53       |
| <b>Dosificación 10</b> | Holcim GU      | Sikament N100  | 1%                | 2%                    | \$ 114,92       |
| <b>Dosificación 11</b> | Holcim GU      | Sikament N100  | 1%                | 5%                    | \$ 123,07       |
| <b>Dosificación 12</b> | Holcim GU      | Sikament N100  | 1%                | 10%                   | \$ 135,31       |

|                        |                 |                |    |     |           |
|------------------------|-----------------|----------------|----|-----|-----------|
| <b>Dosificación 13</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 0%  | \$ 131,06 |
| <b>Dosificación 14</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 2%  | \$ 132,65 |
| <b>Dosificación 15</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 5%  | \$ 141,19 |
| <b>Dosificación 16</b> | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 10% | \$ 153,48 |
| <b>Dosificación 17</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 0%  | \$ 111,43 |
| <b>Dosificación 18</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 2%  | \$ 114,84 |
| <b>Dosificación 19</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 5%  | \$ 123,47 |
| <b>Dosificación 20</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 1% | 10% | \$ 137,84 |
| <b>Dosificación 21</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 0%  | \$ 129,68 |
| <b>Dosificación 22</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 2%  | \$ 131,30 |
| <b>Dosificación 23</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 5%  | \$ 140,39 |
| <b>Dosificación 24</b> | Guapán          | Rheobuild 1000 | 2% | 10% | \$ 153,31 |
| <b>Dosificación 25</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 0%  | \$ 111,04 |
| <b>Dosificación 26</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 2%  | \$ 112,50 |
| <b>Dosificación 27</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 5%  | \$ 121,62 |
| <b>Dosificación 28</b> | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 10% | \$ 134,32 |
| <b>Dosificación 29</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 0%  | \$ 127,99 |
| <b>Dosificación 30</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 2%  | \$ 128,56 |
| <b>Dosificación 31</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 5%  | \$ 137,25 |
| <b>Dosificación 32</b> | Guapán          | Sikament N100  | 2% | 10% | \$ 150,67 |
| <b>Dosificación 33</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 0%  | \$ 112,18 |
| <b>Dosificación 34</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 2%  | \$ 113,40 |
| <b>Dosificación 35</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 5%  | \$ 123,10 |

|                        |                 |                |    |     |           |
|------------------------|-----------------|----------------|----|-----|-----------|
| <b>Dosificación 36</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 10% | \$ 137,43 |
| <b>Dosificación 37</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 0%  | \$ 129,66 |
| <b>Dosificación 38</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 2%  | \$ 130,68 |
| <b>Dosificación 39</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 5%  | \$ 137,73 |
| <b>Dosificación 40</b> | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 10% | \$ 153,63 |
| <b>Dosificación 41</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 0%  | \$ 113,43 |
| <b>Dosificación 42</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 2%  | \$ 116,42 |
| <b>Dosificación 43</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 5%  | \$ 125,58 |
| <b>Dosificación 44</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 10% | \$ 139,58 |
| <b>Dosificación 45</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 0%  | \$ 129,98 |
| <b>Dosificación 46</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 2%  | \$ 131,61 |
| <b>Dosificación 47</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 5%  | \$ 138,99 |
| <b>Dosificación 48</b> | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 10% | \$ 152,25 |

Tabla No. 18 Precio por metro cúbico de las dosificaciones realizadas.

Con esta información se procede a cotejar dichos costos con los rendimientos en cuanto a resistencias a la compresión.

En cuanto al cemento Holcim GU, se realizó primero un estudio fijando el tipo de aditivo y los porcentajes del mismo mientras se varió la cantidad de humo de sílice. En el capítulo anterior se analizó cada uno de estos comportamientos, encontrando que las siguientes dosificaciones tienen el mejor comportamiento:



| Dosificación    | Cemento   | Aditivo        |    | Humo de sílice | Costo m3  |
|-----------------|-----------|----------------|----|----------------|-----------|
|                 |           |                |    |                |           |
| Dosificación 1  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 1% | 0%             | \$ 111,12 |
| Dosificación 8  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 2% | 10%            | \$ 153,29 |
| Dosificación 12 | Holcim GU | Sikament N100  | 1% | 10%            | \$ 135,31 |
| Dosificación 16 | Holcim GU | Sikament N100  | 2% | 10%            | \$ 153,48 |

Tabla No. 19 Dosificaciones de mayor eficiencia con cemento Holcim GU.

Al analizar estas dosificaciones con respecto a su costo por metro cúbico se observa una gran diferencia. Por lo cual se ha decidido que la mejor dosificación bajo las condiciones establecidas es la 1. Donde se ha logrado la mejor resistencia y el costo más bajo.

De la misma forma se analiza el mismo cemento fijando ahora el contenido de humo de sílice, mientras se varía el aditivo y su porcentaje, donde los mejores resultados fueron:

| Dosificación    | Cemento   | Aditivo        |    | Humo de sílice | Costo m3  |
|-----------------|-----------|----------------|----|----------------|-----------|
|                 |           |                |    |                |           |
| Dosificación 1  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 1% | 0%             | \$ 111,12 |
| Dosificación 2  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 1% | 2%             | \$ 113,56 |
| Dosificación 7  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 2% | 5%             | \$ 140,18 |
| Dosificación 16 | Holcim GU | Sikament N100  | 2% | 10%            | \$ 153,48 |

Tabla No. 20 Dosificaciones más eficientes manteniendo humo de sílice constante.

Nuevamente, para el cemento Holcim GU al variar el contenido de aditivo se encuentra que la mejor alternativa es la dosificación 1. A pesar que el costo por metro cúbico con respecto a la dosificación 2 es muy similar, la resistencia varía con alrededor de 9 MPa.

En lo que se refiere a cemento Guapán, se ha llegado a las siguientes conclusiones. De igual manera que con Holcim GU se comenzará al análisis fijando el tipo de aditivo y los porcentajes del mismo mientras se varió la cantidad de humo de sílice:

| <b>Dosificación</b> | <b>Cemento</b> | <b>Aditivo</b> |    | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|---------------------|----------------|----------------|----|-----------------------|-----------------|
| Dosificación 20     | Guapán         | Rheobuild 1000 | 1% | 10%                   | \$ 137,84       |
| Dosificación 22     | Guapán         | Rheobuild 1000 | 2% | 2%                    | \$ 131,30       |
| Dosificación 27     | Guapán         | Sikament N100  | 1% | 5%                    | \$ 121,62       |
| Dosificación 32     | Guapán         | Sikament N100  | 2% | 10%                   | \$ 150,67       |

**Tabla No. 21 Dosificaciones más eficientes para cemento guapán manteniendo aditivo constante.**

En este caso la mejor alternativa es utilizar la dosificación 27, ya que con ésta no solo se obtiene la resistencia más alta con alrededor de 68 MPa, sino que tiene el costo más bajo con respecto al resto.

Ahora se analizarán los mejores resultados obtenidos con este cemento al fijar el porcentaje de humo de sílice de la mezcla:

| Dosificación    | Cemento | Aditivo       |    | Humo de sílice | Costo m3  |
|-----------------|---------|---------------|----|----------------|-----------|
|                 |         |               |    |                |           |
| Dosificación 25 | Guapán  | Sikament N100 | 1% | 0%             | \$ 111,04 |
| Dosificación 26 | Guapán  | Sikament N100 | 1% | 2%             | \$ 112,50 |
| Dosificación 27 | Guapán  | Sikament N100 | 1% | 5%             | \$ 121,62 |
| Dosificación 32 | Guapán  | Sikament N100 | 2% | 10%            | \$ 150,67 |

**Tabla No. 22 Dosificaciones más eficientes para cemento guapán manteniendo constante humo de sílice.**

En este caso, a pesar que la diferencia es pequeña, la mejor dosificación es la 25. La resistencia entre ésta y la dosificación 26 es mínima, pero al ser su costo más bajo y al hablar de cantidades de obra, representa un ahorro significativo.

Ahora se realizará al mismo análisis para el cemento Selvalegre Plus. Se comenzará fijando el porcentaje de aditivo:

| <b>Dosificación</b> | <b>Cemento</b>  | <b>Aditivo</b> |    | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|---------------------|-----------------|----------------|----|-----------------------|-----------------|
| Dosificación 35     | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 5%                    | \$ 123,10       |
| Dosificación 39     | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 2% | 5%                    | \$ 137,73       |
| Dosificación 43     | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 1% | 5%                    | \$ 125,58       |
| Dosificación 46     | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 2%                    | \$ 131,61       |

**Tabla No. 23 Dosificaciones más eficientes cemento selva alegre manteniendo aditivo constante.**

Bajo estas condiciones la mejor dosificación es la 35, ya que alcanza la resistencia más alta con el costo más bajo. De la misma forma ahora se fija el contenido de humo de sílice:

| <b>Dosificación</b> | <b>Cemento</b>  | <b>Aditivo</b> |    | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|---------------------|-----------------|----------------|----|-----------------------|-----------------|
| Dosificación 45     | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 0%                    | \$ 129,98       |
| Dosificación 46     | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 2%                    | \$ 131,61       |
| Dosificación 35     | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 5%                    | \$ 123,10       |
| Dosificación 36     | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 10%                   | \$ 137,43       |

**Tabla No. 24 Dosificaciones más eficientes para cemento selva alegre manteniendo constante humo de sílice.**

La mejor dosificación es la 35 de nuevo, ya que consigue llegar al mejor desempeño de nuevo tanto en resistencia a la compresión como en sus costos.

Finalmente es importante realizar una comparación entre los cementos en cuanto a costos. De esta forma se observará cuáles son las mejores alternativas al momento de elegir entre un cemento u otro.

En el capítulo anterior se realizó la comparación entre los cementos fijando el valor de humo de sílice y variando la marca del aditivo súper plastificante y el porcentaje del mismo. Se llegaron a conclusiones importantes en cuanto a la resistencia. Ahora, en cuando al costo de los mismos se enlistarán las 4 mejores alternativas tomando en cuenta primero la resistencia alcanzada y después el costo que representan las mismas.

Se comenzará fijando el porcentaje de humo de sílice en 0%:

| Dosificación    | Cemento   | Aditivo        |    | Humo de sílice | Costo m3  |
|-----------------|-----------|----------------|----|----------------|-----------|
|                 |           |                |    |                |           |
| Dosificación 1  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 1% | 0%             | \$ 111,12 |
| Dosificación 5  | Holcim GU | Rheobuild 1000 | 2% | 0%             | \$ 128,09 |
| Dosificación 25 | Guapán    | Sikament N100  | 1% | 0%             | \$ 111,04 |
| Dosificación 13 | Holcim GU | Sikament N100  | 2% | 0%             | \$ 131,06 |

Tabla No. 25 Dosificaciones más eficientes entre los tres cementos con 0% SF.

Para este caso con 0% de humo de sílice se observó que el mejor cemento es Holcim GU. Esto se debe principalmente a la calidad del cemento y que al no haber humo de sílice la resistencia de la mezcla depende totalmente del cementante. Como Rheobuild 1000 es un

aditivo que trabaja siempre como súper plastificante reductor de agua esto ayuda a sacar un provecho del 100% a Holcim GU. Por esta razón la mejor dosificación sigue siendo la 1.

El caso del humo de sílice al 2% es diferente como se mostrará a continuación con los 4 mejores resultados:

| <b>Dosificación</b> | <b>Cemento</b>  | <b>Aditivo</b> |    | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|---------------------|-----------------|----------------|----|-----------------------|-----------------|
| Dosificación 2      | Holcim GU       | Rheobuild 1000 | 1% | 2%                    | \$ 113,56       |
| Dosificación 6      | Holcim GU       | Rheobuild 1000 | 2% | 2%                    | \$ 130,56       |
| Dosificación 26     | Guapan          | Sikament N100  | 1% | 2%                    | \$ 112,50       |
| Dosificación 46     | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 2%                    | \$ 131,61       |

**Tabla No. 26 Dosificaciones más eficientes entre los tres cementos con 2% SF.**

En esta ocasión la mejor alternativa es utilizar cemento Guapán con la dosificación 26. Primero, es un cemento que proporciona una resistencia mayor al resto y su costo es menor. Como segunda opción se recomienda la utilización del cemento Holcim GU con la dosificación 2. Las razones son: es una dosificación más barata en comparación a la desarrollada por el cemento Selvalegre. A pesar de que la dosificación 46 de cemento Selvalegre proporciona un mejor rendimiento en etapas tempranas, el estudio de la tesis no se encuentra enfocado en esta aplicación, sino en etapas finales de resistencia donde Holcim GU alcanza mejores resultados.

Ahora se analizará cuando se coloca 5% de humo de sílice en la dosificación:

| <b>Dosificación</b> | <b>Cemento</b>  | <b>Aditivo</b> |    | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|---------------------|-----------------|----------------|----|-----------------------|-----------------|
| Dosificación 7      | Holcim GU       | Rheobuild 1000 | 2% | 5%                    | \$ 140,18       |
| Dosificación 35     | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 5%                    | \$ 123,10       |
| Dosificación 27     | Guapán          | Sikament N100  | 1% | 5%                    | \$ 121,62       |
| Dosificación 47     | Selvalegre Plus | Sikament N100  | 2% | 5%                    | \$ 138,99       |

**Tabla No. 27 Dosificaciones más eficientes entre los tres cementos con 5% SF.**

Al analizar este caso se encuentra que el cemento Guapán es el que mejor se desempeña con la dosificación 27. En cuanto a costos por metro cúbico es el más bajo, además de que la resistencia es la mayor. Esto se debe totalmente a la calidad del cemento, ya que al ser un cemento de menor calidad recibe grandes beneficios por parte del humo de sílice. A diferencia del cemento Holcim GU que en resistencias de 60 MPa no necesita de la ayuda de humo de sílice.

Finalmente se presenta un breve análisis de los cementos con 10% de humo de sílice:

| <b>Dosificación</b> | <b>Cemento</b>  | <b>Aditivo</b> |    | <b>Humo de sílice</b> | <b>Costo m3</b> |
|---------------------|-----------------|----------------|----|-----------------------|-----------------|
| Dosificación 8      | Holcim GU       | Rheobuild 1000 | 2% | 10%                   | \$ 153,29       |
| Dosificación 36     | Selvalegre Plus | Rheobuild 1000 | 1% | 10%                   | \$ 137,43       |
| Dosificación 16     | Holcim GU       | Sikament N100  | 2% | 10%                   | \$ 153,48       |
| Dosificación 32     | Guapan          | Sikament N100  | 2% | 10%                   | \$ 150,67       |

**Tabla No. 28 Dosificaciones más efectivas entre los tres cementos con 10% SF.**

Para este caso en especial no se escogerá como en análisis anteriores a la que tiene mayor resistencia, ya que esta no resulta la más rentable. Primero, se escoge como mejor dosificación a la Selva Alegre 36. Se la escoge porque la diferencia en cuanto a resistencia es de 3 MPa, lo cual representa un 5.26% de diferencia en comparación a la dosificación con mayor resistencia que es la de Holcim 8. Mientras que el ahorro por metro cúbico es de \$15.86, lo cual representa un 10% con respecto a la misma dosificación. Por esta razón el cemento Selva Alegre plus es el cemento que mejor se comporta con un 10% de humo de sílice.

Como se puede observar en cada uno de los análisis que se han realizado se han encontrado dosificaciones que se adaptan mejor a la necesidad. Esto se debe primero a la calidad del cemento que se utiliza, ya que no todos los cementos tienen el mismo rendimiento. Hay unos que necesitan humo de sílice en resistencia menores a los 60 MPa para corregir las imperfecciones que presentan. Mientras que hay cementos que por su



composición responden muy bien a estos requerimientos. Al momento de elegir el cemento que se desea utilizar para un proyecto se tiene que analizar qué es lo que buscamos, ya que dependiendo de esta respuesta la dosificación ideal será diferente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El humo de sílice efectivamente es un cementante que aporta principalmente a la resistencia en etapas tempranas del hormigón. Como se pudo notar, independientemente del tipo de cemento que se utiliza, el aporte del humo de sílice se nota con gran fuerza a los 3 y 7 días de edad del hormigón. A los 28 días ciertamente aporta con un incremento en la resistencia, pero no es la aplicación principal del cementante.

En cementos como Holcim GU, el humo de sílice no afecta en gran proporción como sucede con cementos como Guapán y Selvalegre plus. Como se pudo notar en los experimentos realizados, en el rango de resistencias obtenidas de 50 a 60 MPa Holcim GU no necesita de un cementante como el humo de sílice. Es por esta razón que el mejor resultado del estudio se encontró en dosificaciones con 0% del mismo.

En cementos como el Selva Alegre Plus y Guapán se ha encontrado que es de gran ayuda la aplicación de humo de sílice en porcentajes de 2% y 5% acompañado de la cantidad adecuada de súper plastificante reductor de agua. La cantidad de los mismos depende en gran forma del tipo de aditivo que se utiliza y cuál es el comportamiento que se busca en la vida del hormigón.

Por la naturaleza del humo de sílice es necesario que se utilice un aditivo súper plastificante reductor de agua. Como se pudo observar en aditivos como Sikament N100, que ciertamente actúa excelente en cuanto a la plasticidad que da a la mezcla, es necesario utilizarlo como reductor de agua, lo cual se logra aplicándolo en un 2%.

Al momento de realizar la mezcla de hormigón en la mezcladora es de vital importancia colocar la cantidad de agua necesaria para que se dé la reacción química. Es bien conocido por los ingenieros civiles que el agua que se adiciona en la mezcla afecta directamente en las propiedades que se obtendrán de la misma. Pero no por esta razón se debe colocar menos agua de la necesaria. Si la mezcla no encuentra la cantidad necesaria de este elemento no se aprovechará completamente las propiedades del cementante.

Es importante que los agregados que se utilizan para la mezcla de hormigón sean de calidad. Cuando se trabaja con agregados que tienen excesiva cantidad de finos esto afecta directamente a la cantidad de agua que se necesitará en la mezcla. El primer problema que se presentará será que la relación agua cementante se incrementará, lo que provocará que el humo de sílice no actúa como se necesita. Luego, la resistencia obviamente se verá afectada por esta cantidad excesiva de agua. Finalmente, el aditivo reductor de agua no será suficiente para corregir estas fallas. Además de que según los fabricantes, los aditivos nunca deben ser utilizados para corregir fallas en las dosificaciones.

Como parte del estudio se añadió una breve introducción a la velocidad de ondas a través de los cilindros de hormigón. La importancia de este procedimiento es que como un ensayo no destructivo permite conocer de antemano las propiedades del elemento. Dado que no es el tema de la tesis, los resultados encontrados permiten tener una idea general de las velocidades de dichas ondas para un intervalo de resistencias. Esto se mostrará en la sección de anexos.

## Recomendaciones

Se recomienda en primer lugar, realizar mayor cantidad de ensayos para cada dosificación elaborada, con el fin de obtener más cantidad de información que avale de forma más sistemática lo concluido en este estudio. Además se pueden añadir otras variables como distintas clases de aditivo grueso y fino de otras canteras de la ciudad de Quito, para que el estudio pueda ser más extenso.

Se recomienda además el estudio de resistencia a la tracción con las dosificaciones de hormigón realizadas para los tres cementos estudiados, con el fin de obtener más información en el futuro acerca del comportamiento de dichas mezclas y sus prestaciones analizando distintas propiedades mecánicas.

Es recomendable producir más volumen de hormigón para cada dosificación, con el objetivo de estudiar las velocidades de onda con el pulsómetro para cada dosificación con un mismo cilindro, debido a que utilizar distintos cilindros a distintas edades de cada dosificación conduce a errores en la recolección de datos.

De igual forma, se recomienda un estudio de mayor profundidad sobre las velocidades de onda con respecto al desarrollo de resistencia a la compresión en el hormigón, con el fin de obtener mayor información sobre las propiedades del hormigón.

Se recomienda la medición y estudio del tiempo empleado en la mezcla de hormigón, debido a que a medida que aumenta el porcentaje de humo de sílice, se requiere más tiempo de mezclado. La medición de estos tiempos puede ser relacionada con los resultados de resistencia para cada dosificación de hormigón.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (S.F). *Uso de Sílice en Hormigones de Alto Desempeño*.  
Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra. Pp 1-8.
- ASTM C33-13. (2013). *Standard specification for concrete aggregates*. West Conshohoken: ASTM International.
- ASTM C39. (2004). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohoken: ASTM International.
- ASTM C127-04, A. S. (2004). *Método para determinar peso específico y absorción del agregado grueso*. West Conshohocken: ASTM.
- ASTM C1176. (2008). *Standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating table*. West Conshohoken: ASTM International.
- ASTM C136-06. (2006). *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. West Conshohoken: ASTM International.
- ASTM C192/C192M-07. (2007). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM C212.3-10. (2010). *Report on Chemical Admixtures for Concrete*. Michigan: ASTM International.
- ASTM C494M-08a. (2008). *Historical Standart: Especificación normalizada de aditivos químicos para concreto*. Michigan: ASTM International.
- ASTM C 597-09. (2009). *Standard test method for pulse velocity through concrete*. West Conshohoken: ASTM International.
- ASTM D422-63. (2007). *Standard test method for particle-size analysis of soils*. West Conshohoken: ASTM International.
- ASTM 234R-96. (1996). *Guide for the use of silica fume in concrete*. ASTM International.
- BASF, T, C. (2012). *Rheobuild 1000*. Basters: BASF.
- Holcim. (2013). *Holcim Rocafuerte tipo GU*. Guayaquil: Holcim Ecuador.
- King, D. (2012). *The Effect Of Silica Fume On The Properties Of Concrete As Defined In Concrete Society Report 74. Cementitious Materials*. Our World in Concrete & Structures. Pp 1-23.

- Kwan, A.K..H. (2000). *Use of condensed silica fume for making high-strength, self-consolidating concrete*. Canadian Journal of Civil Engineering. 27. Pp 620 – 627.
- Lafarge Cementos S.A. (S.F). Ficha Técnica Cemento Selva Alegre Plus. Quito: Lafarge Cementos S.A.
- Neville, A. M . (2012). *Silica fume*. En A. M. NeVille, Properties of concrete (págs. 86-87). Harlow: Pearson Education Limited.
- Neville, A. M. (2012). *Concrete containing silica fume*. En A. M. Neville, Properties of concrete (págs. 668-669). Harlow: Pearson Education Limited.
- Neville, A. M. (2012). *Hydration and strength development of the portland cement-silica fume systems*. En A. M. Neville, Properties of concrete (págs. 671-674). Harlow: Pearson Education Limited.
- Neville, A. M. (2012). *Influence of silica fume on properties of fresh concrete*. En A. M. Neville, Properties of concrete (págs. 669-671). Harlow: Pearson Education Limited.
- Romero, H., Gálvez, J., Lucea, I., & Moragomez, A. (2012). *Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón autocompactante con adición de microsílíce y nanosílíce*. Tercer Congreso Iberoamericano sobre Hormigón Autocompactante: Avances y oportunidades. Pp. 293-302.
- Sika Colombia S.A. (2012). *Sikament N-100*. Tocancipa: Sika Colombia S.A.
- Unión Cementera Nacional. (2014). *Certificado de Producto: Cemento Guapán Portland Puzolánico IP*. Azogues: C.E.M Planta Guapán.

## ANEXOS

### Anexo No. 1 Dosificaciones para 1 metro Cúbico

|                        | Piedra 8<br>(m3) | Arena (m3) | Agua<br>(m3) | Cemento<br>(m3) | Aditivo<br>(m3) | Humo de sílice<br>(m3) |
|------------------------|------------------|------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| <b>Dosificación 1</b>  | 0,3796           | 0,2225     | 0,2119       | 0,1663          | 0,0049          | 0,0000                 |
| <b>Dosificación 2</b>  | 0,3899           | 0,2184     | 0,2073       | 0,1594          | 0,0047          | 0,0055                 |
| <b>Dosificación 3</b>  | 0,3835           | 0,2147     | 0,2099       | 0,1589          | 0,0046          | 0,0136                 |
| <b>Dosificación 4</b>  | 0,3706           | 0,2075     | 0,2180       | 0,1536          | 0,0045          | 0,0262                 |
| <b>Dosificación 5</b>  | 0,3823           | 0,2240     | 0,1946       | 0,1697          | 0,0098          | 0,0000                 |
| <b>Dosificación 6</b>  | 0,3947           | 0,2210     | 0,1860       | 0,1636          | 0,0095          | 0,0056                 |
| <b>Dosificación 7</b>  | 0,3918           | 0,2194     | 0,1836       | 0,1624          | 0,0094          | 0,0138                 |
| <b>Dosificación 8</b>  | 0,3804           | 0,2130     | 0,1932       | 0,1577          | 0,0091          | 0,0269                 |
| <b>Dosificación 9</b>  | 0,3808           | 0,2231     | 0,2095       | 0,1668          | 0,0049          | 0,0000                 |
| <b>Dosificación 10</b> | 0,3911           | 0,2190     | 0,2050       | 0,1599          | 0,0047          | 0,0055                 |
| <b>Dosificación 11</b> | 0,3835           | 0,2147     | 0,2099       | 0,1589          | 0,0046          | 0,0136                 |
| <b>Dosificación 12</b> | 0,3696           | 0,2070     | 0,2201       | 0,1532          | 0,0044          | 0,0261                 |
| <b>Dosificación 13</b> | 0,3847           | 0,2254     | 0,1896       | 0,1708          | 0,0099          | 0,0000                 |
| <b>Dosificación 14</b> | 0,3947           | 0,2210     | 0,1860       | 0,1636          | 0,0095          | 0,0056                 |
| <b>Dosificación 15</b> | 0,3888           | 0,2177     | 0,1896       | 0,1611          | 0,0093          | 0,0137                 |
| <b>Dosificación 16</b> | 0,3759           | 0,2105     | 0,2047       | 0,1537          | 0,0090          | 0,0266                 |
| <b>Dosificación 17</b> | 0,3888           | 0,2278     | 0,1910       | 0,1726          | 0,0050          | 0,0000                 |



|                        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Dosificación 18</b> | 0,4022 | 0,2252 | 0,1805 | 0,1667 | 0,0048 | 0,0057 |
| <b>Dosificación 19</b> | 0,3950 | 0,2212 | 0,1867 | 0,1637 | 0,0047 | 0,0140 |
| <b>Dosificación 20</b> | 0,3853 | 0,2158 | 0,1877 | 0,1597 | 0,0046 | 0,0272 |
| <b>Dosificación 21</b> | 0,3942 | 0,2310 | 0,1701 | 0,1750 | 0,0102 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 22</b> | 0,4038 | 0,2262 | 0,1676 | 0,1674 | 0,0097 | 0,0057 |
| <b>Dosificación 23</b> | 0,3986 | 0,2232 | 0,1697 | 0,1652 | 0,0096 | 0,0141 |
| <b>Dosificación 24</b> | 0,3858 | 0,2161 | 0,1820 | 0,1599 | 0,0093 | 0,0273 |
| <b>Dosificación 25</b> | 0,3835 | 0,2247 | 0,2017 | 0,1703 | 0,0049 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 26</b> | 0,3902 | 0,2185 | 0,2046 | 0,1617 | 0,0047 | 0,0055 |
| <b>Dosificación 27</b> | 0,3856 | 0,2160 | 0,2055 | 0,1598 | 0,0046 | 0,0136 |
| <b>Dosificación 28</b> | 0,3725 | 0,2086 | 0,2140 | 0,1544 | 0,0045 | 0,0263 |
| <b>Dosificación 29</b> | 0,3823 | 0,2240 | 0,1946 | 0,1697 | 0,0098 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 30</b> | 0,3889 | 0,2178 | 0,1977 | 0,1612 | 0,0093 | 0,0055 |
| <b>Dosificación 31</b> | 0,3837 | 0,2149 | 0,1999 | 0,1590 | 0,0092 | 0,0136 |
| <b>Dosificación 32</b> | 0,3741 | 0,2095 | 0,2064 | 0,1550 | 0,0090 | 0,0264 |
| <b>Dosificación 33</b> | 0,3886 | 0,2277 | 0,1932 | 0,1708 | 0,0050 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 34</b> | 0,3944 | 0,2209 | 0,1979 | 0,1618 | 0,0047 | 0,0056 |
| <b>Dosificación 35</b> | 0,3913 | 0,2191 | 0,1940 | 0,1622 | 0,0047 | 0,0138 |
| <b>Dosificación 36</b> | 0,3821 | 0,2140 | 0,1944 | 0,1584 | 0,0046 | 0,0270 |
| <b>Dosificación 37</b> | 0,3916 | 0,2295 | 0,1754 | 0,1739 | 0,0101 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 38</b> | 0,3995 | 0,2237 | 0,1763 | 0,1656 | 0,0096 | 0,0056 |
| <b>Dosificación 39</b> | 0,3888 | 0,2177 | 0,1896 | 0,1611 | 0,0093 | 0,0137 |

|                        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Dosificación 40</b> | 0,3847 | 0,2155 | 0,1843 | 0,1595 | 0,0092 | 0,0272 |
| <b>Dosificación 41</b> | 0,3891 | 0,2280 | 0,1922 | 0,1710 | 0,0050 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 42</b> | 0,4013 | 0,2247 | 0,1841 | 0,1646 | 0,0048 | 0,0057 |
| <b>Dosificación 43</b> | 0,3959 | 0,2217 | 0,1847 | 0,1641 | 0,0048 | 0,0140 |
| <b>Dosificación 44</b> | 0,3853 | 0,2157 | 0,1878 | 0,1597 | 0,0046 | 0,0272 |
| <b>Dosificación 45</b> | 0,3859 | 0,2261 | 0,1871 | 0,1714 | 0,0099 | 0,0000 |
| <b>Dosificación 46</b> | 0,3959 | 0,2217 | 0,1836 | 0,1641 | 0,0095 | 0,0056 |
| <b>Dosificación 47</b> | 0,3866 | 0,2165 | 0,1942 | 0,1602 | 0,0093 | 0,0137 |
| <b>Dosificación 48</b> | 0,3762 | 0,2107 | 0,2019 | 0,1559 | 0,0090 | 0,0266 |

**Anexo No. 2 Cálculo de costo por metro cúbico de cada una de las dosificaciones**

| <b>Dosificación 1</b>                          |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                              | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                | \$ 10,00               | ton           | 1,0576          | \$ 10,58            |
| <b>Arena</b>                                   | \$ 12,00               | ton           | 0,5695          | \$ 6,83             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4889          | \$ 77,15            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                  | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>                                    | \$ 2,00                | ton           | 0,2119          | \$ 0,42             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>  | \$ 3,30                | litro         | 4,8890          | \$ 16,13            |
| <b>Total</b>                                   |                        |               |                 | \$ 111,12           |

| <b>Dosificación 2</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0139          | \$ 10,14            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5459          | \$ 6,55             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4687          | \$ 73,96            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0094          | \$ 7,03             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2073          | \$ 0,41             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,6868          | \$ 15,47            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 113,56           |

| <b>Dosificación 3</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9970          | \$ 9,97             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5369          | \$ 6,44             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4609          | \$ 72,73            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0230          | \$ 17,28            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2099          | \$ 0,42             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,6090          | \$ 15,21            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 122,06           |

| <b>Dosificación 4</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9636          | \$ 9,64             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5188          | \$ 6,23             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4454          | \$ 70,29            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0445          | \$ 33,41            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2180          | \$ 0,44             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,4543          | \$ 14,70            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 134,69           |

| <b>Dosificación 5</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0649          | \$ 10,65            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5734          | \$ 6,88             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4923          | \$ 77,68            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1946          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,8452          | \$ 32,49            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 128,09           |

| <b>Dosificación 6</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0263          | \$ 10,26            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5526          | \$ 6,63             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4744          | \$ 74,86            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0095          | \$ 7,12             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1860          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,4886          | \$ 31,31            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 130,56           |



| <b>Dosificación 7</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0187          | \$ 10,19            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5485          | \$ 6,58             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4709          | \$ 74,31            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0235          | \$ 17,66            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1836          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,4180          | \$ 31,08            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 140,18           |

| <b>Dosificación 8</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9891          | \$ 9,89             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5326          | \$ 6,39             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4572          | \$ 72,15            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0457          | \$ 34,29            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1932          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,1450          | \$ 30,18            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 153,29           |

| <b>Dosificación 9</b>                              |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0609          | \$ 10,61            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5712          | \$ 6,85             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4904          | \$ 77,39            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2095          | \$ 0,42             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,9042          | \$ 17,26            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 112,53           |

| <b>Dosificación 10</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0168          | \$ 10,17            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5475          | \$ 6,57             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4700          | \$ 74,17            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0094          | \$ 7,05             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2050          | \$ 0,41             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,7005          | \$ 16,55            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 114,92           |

| <b>Dosificación 11</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9970          | \$ 9,97             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5369          | \$ 6,44             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4609          | \$ 72,73            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0230          | \$ 17,28            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2099          | \$ 0,42             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,6090          | \$ 16,22            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 123,07           |

| <b>Dosificación 12</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9609          | \$ 9,61             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5174          | \$ 6,21             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4442          | \$ 70,10            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0444          | \$ 33,32            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2201          | \$ 0,44             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,4422          | \$ 15,64            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 135,31           |

| <b>Dosificación 13</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0716          | \$ 10,72            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5770          | \$ 6,92             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4954          | \$ 78,17            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1896          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,9074          | \$ 34,87            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 131,06           |

| <b>Dosificación 14</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0263          | \$ 10,26            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5526          | \$ 6,63             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4744          | \$ 74,86            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0095          | \$ 7,12             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1860          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,4886          | \$ 33,40            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 132,65           |



| <b>Dosificación 15</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0109          | \$ 10,11            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5443          | \$ 6,53             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4673          | \$ 73,74            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0234          | \$ 17,52            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1896          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,3465          | \$ 32,90            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 141,19           |

| <b>Dosificación 16</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9773          | \$ 9,77             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5263          | \$ 6,32             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 157,80              | ton           | 0,4518          | \$ 71,29            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0452          | \$ 33,89            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2047          | \$ 0,41             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,0360          | \$ 31,81            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 153,48           |

| <b>Dosificación 17</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0830          | \$ 10,83            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5832          | \$ 7,00             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,5006          | \$ 76,70            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1910          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 5,0065          | \$ 16,52            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 111,43           |

| <b>Dosificación 18</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0458          | \$ 10,46            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5631          | \$ 6,76             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4834          | \$ 74,06            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0097          | \$ 7,25             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1805          | \$ 0,36             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,8344          | \$ 15,95            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 114,84           |

| <b>Dosificación 19</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0269          | \$ 10,27            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5529          | \$ 6,64             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4747          | \$ 72,73            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0237          | \$ 17,80            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1867          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,7471          | \$ 15,67            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 123,47           |

| <b>Dosificación 20</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0019          | \$ 10,02            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5395          | \$ 6,47             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4632          | \$ 70,95            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0463          | \$ 34,74            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1877          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,6315          | \$ 15,28            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 137,84           |

| <b>Dosificación 21</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0980          | \$ 10,98            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5913          | \$ 7,10             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,5076          | \$ 77,76            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1701          | \$ 0,34             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 10,1521         | \$ 33,50            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 129,68           |

| <b>Dosificación 22</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0500          | \$ 10,50            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5654          | \$ 6,78             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4854          | \$ 74,36            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0097          | \$ 7,28             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1676          | \$ 0,34             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,7077          | \$ 32,04            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 131,30           |



| <b>Dosificación 23</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0364          | \$ 10,36            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5581          | \$ 6,70             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4791          | \$ 73,40            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0240          | \$ 17,97            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1697          | \$ 0,34             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,5821          | \$ 31,62            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 140,39           |

| <b>Dosificación 24</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0032          | \$ 10,03            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5402          | \$ 6,48             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4638          | \$ 71,05            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0464          | \$ 34,78            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1820          | \$ 0,36             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,2751          | \$ 30,61            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 153,31           |

| <b>Dosificación 25</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0684          | \$ 10,68            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5753          | \$ 6,90             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4939          | \$ 75,66            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2017          | \$ 0,40             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,9388          | \$ 17,38            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 111,04           |

| <b>Dosificación 26</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0145          | \$ 10,15            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5463          | \$ 6,56             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4690          | \$ 71,85            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0094          | \$ 7,03             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2046          | \$ 0,41             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,6900          | \$ 16,51            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 112,50           |

| <b>Dosificación 27</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0026          | \$ 10,03            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5399          | \$ 6,48             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4635          | \$ 71,01            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0232          | \$ 17,38            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2055          | \$ 0,41             |
| <b>Reductor de Alto rango (Rheobuild 1000)</b>     | \$ 3,52                | litro         | 4,6350          | \$ 16,32            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 121,62           |

| <b>Dosificación 28</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9686          | \$ 9,69             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5216          | \$ 6,26             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4478          | \$ 68,60            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0448          | \$ 33,58            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2140          | \$ 0,43             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,4778          | \$ 15,76            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 134,32           |

| <b>Dosificación 29</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0649          | \$ 10,65            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5734          | \$ 6,88             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4923          | \$ 75,41            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1946          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,8452          | \$ 34,66            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 127,99           |

| <b>Dosificación 30</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0111          | \$ 10,11            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5444          | \$ 6,53             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4674          | \$ 71,61            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0093          | \$ 7,01             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1977          | \$ 0,40             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,3479          | \$ 32,90            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 128,56           |



| <b>Dosificación 31</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9977          | \$ 9,98             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5372          | \$ 6,45             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4612          | \$ 70,66            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0231          | \$ 17,30            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1999          | \$ 0,40             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,2243          | \$ 32,47            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 137,25           |

| <b>Dosificación 32</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9725          | \$ 9,73             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5237          | \$ 6,28             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 153,20              | ton           | 0,4496          | \$ 68,88            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0450          | \$ 33,72            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2064          | \$ 0,41             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 8,9916          | \$ 31,65            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 150,67           |

| <b>Dosificación 33</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0825          | \$ 10,82            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5829          | \$ 6,99             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,5004          | \$ 77,46            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1932          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 5,0041          | \$ 16,51            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 112,18           |

| <b>Dosificación 34</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0254          | \$ 10,25            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5521          | \$ 6,63             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4740          | \$ 73,38            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0095          | \$ 7,11             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1979          | \$ 0,40             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,7401          | \$ 15,64            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 113,40           |

| <b>Dosificación 35</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0174          | \$ 10,17            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5478          | \$ 6,57             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4703          | \$ 72,81            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0235          | \$ 17,64            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1940          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,7033          | \$ 15,52            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 123,10           |

| <b>Dosificación 36</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9934          | \$ 9,93             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5349          | \$ 6,42             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4592          | \$ 71,09            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0459          | \$ 34,44            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1944          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 4,5924          | \$ 15,15            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 137,43           |

| <b>Dosificación 37</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0909          | \$ 10,91            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5874          | \$ 7,05             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,5043          | \$ 78,06            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1754          | \$ 0,35             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 10,0858         | \$ 33,28            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 129,66           |

| <b>Dosificación 38</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0387          | \$ 10,39            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5593          | \$ 6,71             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4802          | \$ 74,33            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0096          | \$ 7,20             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1763          | \$ 0,35             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,6038          | \$ 31,69            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 130,68           |



| <b>Dosificación 39</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0109          | \$ 10,11            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5443          | \$ 6,53             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4673          | \$ 72,34            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0234          | \$ 17,52            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1896          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,3465          | \$ 30,84            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 137,73           |

| <b>Dosificación 40</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0003          | \$ 10,00            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5386          | \$ 6,46             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4624          | \$ 71,59            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0462          | \$ 34,68            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1843          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,30                | litro         | 9,2488          | \$ 30,52            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 153,63           |

| <b>Dosificación 41</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0839          | \$ 10,84            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5836          | \$ 7,00             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,5010          | \$ 77,56            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1922          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 5,0105          | \$ 17,64            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 113,43           |

| <b>Dosificación 42</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0434          | \$ 10,43            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5618          | \$ 6,74             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4823          | \$ 74,67            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0096          | \$ 7,24             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1841          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,8233          | \$ 16,98            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 116,42           |

| <b>Dosificación 43</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0295          | \$ 10,29            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5543          | \$ 6,65             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4759          | \$ 73,67            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0238          | \$ 17,85            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1847          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,7590          | \$ 16,75            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 125,58           |

| <b>Dosificación 44</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0017          | \$ 10,02            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5394          | \$ 6,47             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4631          | \$ 71,68            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0463          | \$ 34,73            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1878          | \$ 0,38             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 4,6306          | \$ 16,30            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 139,58           |

| <b>Dosificación 45</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0750          | \$ 10,75            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5788          | \$ 6,95             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4969          | \$ 76,93            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0000          | \$ -                |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1871          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,9388          | \$ 34,98            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 129,98           |

| <b>Dosificación 46</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0294          | \$ 10,29            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5543          | \$ 6,65             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4759          | \$ 73,66            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0095          | \$ 7,14             |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1836          | \$ 0,37             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,5171          | \$ 33,50            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 131,61           |



| <b>Dosificación 47</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 1,0050          | \$ 10,05            |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5412          | \$ 6,49             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4646          | \$ 71,92            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0232          | \$ 17,42            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,1942          | \$ 0,39             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,2922          | \$ 32,71            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 138,99           |

| <b>Dosificación 48</b>                             |                        |               |                 |                     |
|--|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio total</b> |
| <b>Piedra 8</b>                                    | \$ 10,00               | ton           | 0,9781          | \$ 9,78             |
| <b>Arena</b>                                       | \$ 12,00               | ton           | 0,5267          | \$ 6,32             |
| <b>Cemento INEN 2380 (ASTM C1157), Tipo<br/>GU</b> | \$ 154,80              | ton           | 0,4522          | \$ 70,00            |
| <b>Micro Sílice ASTM C240</b>                      | \$ 750,00              | ton           | 0,0452          | \$ 33,91            |
| <b>Agua</b>  | \$ 2,00                | ton           | 0,2019          | \$ 0,40             |
| <b>Reductor de Alto rango (Reobuild 1000)</b>      | \$ 3,52                | litro         | 9,0435          | \$ 31,83            |
| <b>Total</b>                                       |                        |               |                 | \$ 152,25           |

**Anexo No. 3 Gráfico de resistencia vs velocidad de onda.**