



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE  
HORMIGÓN, UTILIZANDO ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES SOBRE LA  
BASE DE NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS APLICADOS EN LA EMPRESA  
CONCRETOS CHIMBORAZO DE QUITO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Civil e Ingeniero Civil

**AUTORES:** María Belén Cárdenas Guilcapi  
Carlos Alberto Cárdenas Martínez

**TUTORA:** Doris Alexandra Andrade Sandoval

Quito - Ecuador  
2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, María Belén Cárdenas Guilcapi con documento de identificación N°1726769878 y Carlos Alberto Cárdenas Martínez con documento de identificación N° 1712675394; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de marzo del 2022

Atentamente,



---

María Belén Cárdenas Guilcapi  
1726769878



---

Carlos Alberto Cárdenas Martínez  
1712675394

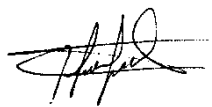
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, María Belén Cárdenas Guilcapi con documento de identificación N°1726769878 y Carlos Alberto Cárdenas Martínez con documento de identificación N°1712675394; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de Hormigón, utilizando Aditivos Superplastificantes sobre la base de Naftalenos y Policarboxilatos aplicados en la Empresa Concretos Chimborazo de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del 2022

Atentamente,



---

María Belén Cárdenas Guilcapi

1726769878



---

Carlos Alberto Cárdenas Martínez

1712675394

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Doris Alexandra Andrade Sandoval con documento de identificación N°1720110657, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE HORMIGÓN, UTILIZANDO ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES SOBRE LA BASE DE NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS APLICADOS EN LA EMPRESA CONCRETOS CHIMBORAZO DE QUITO, realizado por María Belén Cárdenas Guilcapi con documento de identificación N°1726769878 y Carlos Alberto Cárdenas Martínez con documento de identificación N°1712675394, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del 2022

Atentamente,



---

Arq. Doris Alexandra Andrade Sandoval

1720110657

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis a mi FAMILIA, que me han dado el apoyo necesario para cumplir uno de mis sueños y ser los pilares mas fuertes para mi formacion academica y personal.

Dedico mi tesis a mis TÍOS ARMANDO Y HERNÁN, los cuales siempre han tenido la predisposición de ayudarme y ser mi apoyo en todas las etapas de mi vida, aconsejandome y dandome siempre su mano como apoyo incondicional.

A mis ABUELITOS LUIS Y MARÍA, quienes siempre han estado conmigo y me han dado su tiempo, cariño y amor, siendo las personas que han hecho de mi una persona responsable e integra.

A mis PADRES PATRICIA Y CARLOS, que me han dado su apoyo en todas las cosas que yo he querido, siendo las personas que me han proporcionado los valores y un buen criterio de toma de decisiones, cariño, paciencia y amor durante toda mi vida. Mostrandome que las cosas se las consigue con esfuerzo, perseverancia, constancia y un toque de locura e imaginación.

A mi HERMANA PAULA, porque con ella hemos llevado una relación que la hemos fortalecido con el pasar del tiempo, siendo el apoyo la una de la otra. Ya que durante mi vida y durante mi carrera ella ha estado pendiente de mí en todo momento. Estando enferma, feliz, triste, cansada y frustrada.

Finalmente a mi PAPÁ, que es la persona que impulsó esta idea de tesis y ha sido mi apoyo durante toda la carrera, y para nuestra suerte conseguimos ser compañeros de tesis, llegando a la meta los dos juntos.

*María Belén Cárdenas*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis a mi FAMILIA, que me han dado el apoyo necesario para cumplir uno de mis sueños y ser los pilares mas fuertes para mi formacion academica y personal.

Dedico mi tesis a mi ESPOSA MYRIAM PATRICIA, quien ha sido la motivación principal de esta etapa estudiantil, porque desde el inicio supo valorar mi esfuerzo, capacidad y nunca desmayo su apoyo a pesar las adversidades que nos puso la vida.

A mis PADRES JORGE Y ESTHER, quienes pusieron las bases de valores fundamentales de responsabilidad y respeto, además porque fomentaron el gusto por esta linda profesión de Ingeniería Civil.

A mi FAMILIA POLÍTICA LUIS, MARÍA, ARMANDO Y HERNÁN, porque estubieron pendientes en todo momento con consejos y animos para encaminarme en el sendero de mi profesión.

A mi HIJA PAULA, que ha pesar de corta edad ha sabido darme ejemplo de tenacidad y pasión por cuplir los retos de la vida aunque implique grades sacrificios.

A mi HIJA MARÍA BELÉN, con quien la vida nos puso una linda travesía, primero como como su Padre, y hoy como compañeros de tesis para lograr juntos nuestro sueño de ser profesionales.

*Carlos Alberto Cárdenas*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios, por todas las cosas buenas que nos ha proporcionado. A nuestra familia que han sido ese aliente y apoyo durante toda la carrera.

Agradecemos a todos los docentes que han puesto un granito de arena para nuestra formación profesional como ingenieros civiles íntegros.

A nuestra tutora la Arq. Doris Andrade que nos ha proporcionado sus conocimientos y su tiempo para el desarrollo de este trabajo de tesis.

Finalmente agradecemos tanto a UCEM como al personal que conforma la empresa, que nos proporcionaron herramientas y conocimiento para la ejecución de este proyecto de tesis.

*María Belén y Carlos*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |     |
|--|-----|
| CAPÍTULO I.....  | 1   |
| 1. GENERALIDADES .....   | 1   |
| 1.1 Introducción.....  | 1   |
| 1.2 Problema de estudio .....  | 2   |
| 1.3 Justificación .....  | 4   |
| 1.4 Grupo objetivo (Beneficiarios).....  | 8   |
| 1.5 Objetivos.....   | 8   |
| CAPÍTULO II.....   | 10  |
| 2. MARCO TEÓRICO .....   | 10  |
| 2.1. Estructura actual .....   | 10  |
| 2.2 Situación actual .....   | 13  |
| 2.3 Análisis del cemento HE Chimborazo .....   | 18  |
| 2.4 Análisis de agregados (grueso y fino).....   | 22  |
| 2.5 Análisis del agua de mezcla .....  | 29  |
| 2.6 Análisis de aditivos .....   | 29  |
| CÁPITULO III .....   | 33  |
| 3. Metodología.....  | 33  |
| 3.1. Diseño de mezclas para pruebas de laboratorio.....  | 35  |
| 3.2. Pruebas de laboratorio .....  | 44  |
| 3.3. Pruebas industriales.....   | 53  |
| 3.3.2 Pruebas industriales con aditivos sobre la base de policarboxilatos. ....                          | 57  |
| 3.4. Ensayo de cilindros a la compresión .....   | 60  |
| CAPÍTULO IV .....  | 67  |
| 4. Análisis de resultados .....  | 67  |
| 4.1 Análisis de resultados obtenidos de resistencias a la compresión de<br>especímenes cilíndricos ..... | 67  |
| CONCLUSIONES.....  | 107 |
| RECOMENDACIONES .....  | 110 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS .....   | 111 |
| REFERENCIAS .....  | 112 |
| ANEXOS.....  | 116 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <b>Tabla 1</b> Lote de prueba.....   | 35                                  |
| <b>Tabla 2</b> Porcentaje de aditivo con base de naftalenos .....                      | 38                                  |
| <b>Tabla 3</b> Dosificación de mezclas en laboratorio .....                            | 43                                  |
| <b>Tabla 4</b> Porcentaje de aditivo sobre la base de naftalenos.....                  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| <b>Tabla 5</b> Dosificación de mezclas en laboratorio .....                            | 45                                  |
| <b>Tabla 6</b> Dosificación de mezclas en laboratorio, después del ajuste de A/C ..... | 46                                  |
| <b>Tabla 7</b> Porcentaje de aditivo sobre la base de policarboxilatos .....           | 49                                  |
| <b>Tabla 8</b> Dosificación de mezclas en laboratorio .....                            | 50                                  |
| <b>Tabla 9</b> Dosificación de mezclas en laboratorio, después del ajuste de A/C ..... | 51                                  |
| <b>Tabla 10</b> Dosificación de mezclas para pruebas industriales .....                | 54                                  |
| <b>Tabla 11</b> Dosificación de mezclas para pruebas industriales .....                | 57                                  |
| <b>Tabla 12</b> Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas .....             | 77                                  |
| <b>Tabla 13</b> Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas .....             | 86                                  |
| <b>Tabla 14</b> Estándares de control de concreto .....                                | 94                                  |
| <b>Tabla 15</b> Estándares de control del concreto .....                               | 95                                  |
| <b>Tabla 16</b> Desviación estándar .....  | 108                                 |
| <b>Tabla 17</b> Coeficiente de variación .....   | 109                                 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura. 1</b> Porcentaje de edificaciones a construir, según material de construcción por etapas de la obra ..... | 5  |
| <b>Figura. 2</b> Edificaciones a construir por principales cantones .....  | 6  |
| <b>Figura. 3</b> Número de viviendas a construir por principales cantones .....                                      | 7  |
| <b>Figura. 4</b> Planta de hormigón con mezclador central .....  | 10 |
| <b>Figura. 5</b> Interfaz del sistema automatizado de dosificación .....   | 11 |
| <b>Figura. 6</b> Camión mezclador de hormigón (mixer) .....  | 11 |
| <b>Figura. 7</b> Equipo de colocación (bomba) .....  | 12 |
| <b>Figura. 8</b> Prensa hidráulica para ensayar cilindros .....  | 13 |
| <i>Figura. 9</i> Dosificación de un hormigón HLE .....   | 15 |
| <i>Figura. 10</i> Dosificación de un hormigón HLNE .....   | 15 |
| <i>Figura. 11</i> Dosificación de un hormigón HBD .....  | 15 |
| <i>Figura. 12</i> Molécula de naftaleno .....  | 17 |
| <i>Figura. 13</i> Molécula de policarboxilato.....   | 17 |
| <i>Figura. 14</i> Campos de acción de los aditivos reductores de agua de acuerdo con el desempeño .....              | 18 |
| <i>Figura. 15</i> Tipos de cementos.....   | 19 |
| <b>Figura. 16</b> Demanda de cemento 2020 .....  | 20 |
| <i>Figura. 17</i> Cemento Chimborazo Tipo HE .....   | 21 |
| <b>Figura. 18</b> Propiedades físicas – agregado grueso.....   | 23 |
| <b>Figura. 19</b> Propiedades físicas – agregado fino.....   | 24 |
| <b>Figura. 20</b> Granulometría – agregado grueso .....  | 25 |
| <i>Figura. 21</i> Granulometría – agregado fino .....  | 25 |
| <b>Figura. 22</b> Tamaño de la muestra para ensayo de árido grueso.....  | 26 |
| <b>Figura. 23</b> Stock de agregado fino.....  | 26 |
| <b>Figura. 24</b> Gradación de las muestras de ensayo.....   | 28 |
| <b>Figura. 25</b> Especificaciones para la carga .....   | 28 |
| <b>Figura. 26</b> Diseño de hormigón .....   | 37 |
| <b>Figura. 27</b> Asentamiento pruebas de laboratorio.....   | 47 |
| <b>Figura. 28</b> Densidad de hormigón en estado fresco .....  | 47 |
| <b>Figura. 29</b> Toma de cilindros de las pruebas de laboratorio.....   | 48 |
| <b>Figura. 30</b> Asentamiento pruebas de laboratorio.....   | 52 |
| <b>Figura. 31</b> Densidad de hormigón en estado fresco .....  | 52 |
| <b>Figura. 32</b> Toma de cilindros de las pruebas industriales .....  | 53 |
| <b>Figura. 33</b> Asentamiento pruebas industriales.....   | 55 |
| <b>Figura. 34</b> Densidad de hormigón en estado fresco .....  | 56 |
| <b>Figura. 35</b> Toma de cilindros de las pruebas industriales .....  | 56 |
| <b>Figura. 36</b> Asentamiento pruebas industriales .....  | 58 |
| <b>Figura. 37</b> Densidad de hormigón en estado fresco .....  | 58 |
| <b>Figura. 38</b> Toma de cilindros de las pruebas industriales .....  | 59 |
| <b>Figura. 39</b> Identificación de cilindros.....   | 59 |
| <b>Figura. 40</b> Almacenamiento de cilindros.....   | 60 |
| <b>Figura. 41</b> Divisiones para toma de medidas de los cilindros .....   | 61 |
| <b>Figura. 42</b> Medidas diámetro de los cilindros .....  | 62 |
| <b>Figura. 43</b> Medidas alturas de los cilindros.....  | 62 |

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Figura. 44</b> | Masa de los cilindros .....   | 63  |
| <b>Figura. 45</b> | Identificación de los cilindros .....   | 63  |
| <b>Figura. 46</b> | Identificación de los cilindros .....   | 64  |
| <b>Figura. 47</b> | Esquema de los modelos típicos de fractura .....  | 64  |
| <b>Figura. 48</b> | Ensayo de cilindros en la prensa hidráulica .....   | 65  |
| <b>Figura. 49</b> | Ensayo de cilindros en la prensa hidráulica .....   | 65  |
| <b>Figura. 50</b> | Relación L/D y factor de corrección de resistencia a la compresión .....  | 66  |
| <b>Figura. 51</b> | Tendencia de resistencia a la compresión .....  | 69  |
| <b>Figura. 52</b> | Tendencia de resistencia a la compresión .....  | 70  |
| <b>Figura. 53</b> | Tendencia de resistencia a la compresión .....  | 71  |
| <b>Figura. 54</b> | Diferencial de resistencia a compresión pruebas de laboratorio.....   | 72  |
| <b>Figura. 55</b> | Requisitos para uniformidad del hormigón. Para las condiciones A y B ....   | 73  |
| <b>Figura. 56</b> | Resistencia a la compresión sobre probetas del mismo tipo.....  | 74  |
| <b>Figura. 57</b> | Ganancia de resistencia a la compresión.....  | 74  |
| <b>Figura. 58</b> | Eficiencia del cemento de las pruebas de laboratorio .....  | 76  |
| <b>Figura. 59</b> | Resistencia a compresión de probetas cilíndricas .....  | 78  |
| <b>Figura. 60</b> | Tendencia de resistencia a la compresión .....  | 80  |
| <b>Figura. 61</b> | Tendencia de resistencia a la compresión .....  | 81  |
| <b>Figura. 62</b> | Tendencia de resistencia a la compresión .....  | 82  |
| <b>Figura. 63</b> | Diferencial de resistencia a compresión.....  | 83  |
| <b>Figura. 64</b> | Ganancia de resistencia a la compresión.....  | 84  |
| <b>Figura. 65</b> | Eficiencia del cemento .....  | 85  |
| <b>Figura. 66</b> | Resistencia a compresión de probetas cilíndricas .....  | 87  |
| <b>Figura. 67</b> | Redistencias probetas obtenidas por relación agua cemento (A/C) .....   | 89  |
| <b>Figura. 68</b> | Factores para el cálculo de la desviación estándar dentro del lote a partir del intervalo de ensayos con el uso de dos, tres o cuatro especímenes ..... | 90  |
| <b>Figura. 69</b> | Desviación estandar por lote .....  | 91  |
| <b>Figura. 70</b> | Desviación estandar por lote .....  | 91  |
| <b>Figura. 71</b> | Desviación estandar por lote .....  | 92  |
| <b>Figura. 72</b> | Desviación estandar general.....  | 92  |
| <b>Figura. 73</b> | Desviación estandar general.....  | 92  |
| <b>Figura. 74</b> | Desviación estandar general .....   | 93  |
| <b>Figura. 75</b> | Precisión dentro del ensayo.....  | 96  |
| <b>Figura. 76</b> | Coefficiente de variación dentro de cada lote .....   | 96  |
| <b>Figura. 77</b> | Coefficiente de variación dentro de cada lote .....   | 97  |
| <b>Figura. 78</b> | Coefficiente de variación dentro de cada lote .....   | 97  |
| <b>Figura. 79</b> | Coefficiente de variación general.....  | 98  |
| <b>Figura. 80</b> | Coefficiente de variación general.....  | 98  |
| <b>Figura. 81</b> | Coefficiente de variación general .....   | 98  |
| <b>Figura. 82</b> | Grafica de distribución normal .....  | 99  |
| <b>Figura. 83</b> | Distribución normal de las resistencias a la compresión .....   | 100 |
| <b>Figura. 84</b> | Distribución normal de las resistencias a la compresión .....   | 101 |
| <b>Figura. 85</b> | Distribución normal de las resistencias a la compresión .....   | 102 |
| <b>Figura. 86</b> | Distribución normal de las resistencias a la compresión .....   | 103 |
| <b>Figura. 87</b> | Distribución normal de las resistencias a la compresión .....   | 104 |
| <b>Figura. 88</b> | Parámetros de simetría de la gráfica de distribución normal .....   | 105 |
| <b>Figura. 89</b> | Parámetros de simetría de la gráfica de distribución normal .....   | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura. 90</b> Parámetros de simetría de la gráfica de dsitribución normal ..... | 105 |
| <b>Figura. 91</b> Condiciones ideales de la grafica de dsitribución normal.....     | 106 |
| <b>Figura. 92</b> Condiciones ideales de la grafica de dsitribución normal.....     | 106 |
| <b>Figura. 93</b> Condiciones ideales de la grafica de dsitribución normal.....     | 106 |

## RESUMEN

El objetivo del proyecto es el análisis comparativo de la resistencia a la compresión de mezclas de hormigón premezclado sin aditivo, con aditivo sobre base de naftalenos y aditivo sobre base de policarboxilatos, dentro de la empresa UCEM. Proporcionando a la industria del hormigón una base teórica sobre el comportamiento de este con contenidos de cemento entre  $250-350 \text{ kg/m}^3$  y sus debidas dosificaciones en % de los aditivos dentro de sus diseños.

Se generó una base de datos de la resistencia a la compresión de los especímenes a las edades de 7 y 28 días, densidad en estado fresco y endurecido, diámetros y longitudes de los especímenes, asentamiento y la caracterización de las materias primas usadas en las mezclas, según el contenido de cemento presente en cada diseño bajo la normativa ACI y los porcentajes de aditivos de acuerdo con las fichas técnicas de los aditivos proporcionadas por el fabricante.

Por último se realizó un análisis estadístico bajo las normativas ACI 214-R11, NTE INEN 1573, NTE INEN 1855-1 y NTE INEN 1855-2, de los resultados de la resistencia a la compresión, proporcionando información para el cálculo de la desviación estándar, coeficiente de variación y la construcción de gráficas de distribución normal; parámetros que denotaron el control de calidad de las mezclas, la eficiencia y el comportamiento del hormigón endurecido según el contenido de cemento y el aditivo aplicado dentro de su diseño.

**Palabras clave:** análisis, aditivo, resistencia a la compresión, naftalenos, policarboxilatos.

## ABSTRACT

The objective of the project is the comparative analysis of the compressive strength of ready-mixed concrete, with naphthalene-based admixture and polycarboxylate-based admixture, within the UCEM company. Providing the concrete industry with a theoretical basis on the behavior of concrete with cement contents between 250-350 kg/m<sup>3</sup> and their due dosages in % of admixtures within their designs.

A database was generated on the compressive strength of the specimens at ages 7 and 28 days, density in fresh and hardened state, diameters and lengths of the specimens, slump and the characterization of the raw materials used in the mixtures, according to the cement content present in each design under the ACI regulations and the percentages of admixtures according to the technical data sheets of the admixtures provided by the manufacturer.

Finally, a statistical analysis was performed under ACI 214-R11, NTE INEN 1573, NTE INEN 1855-1 and NTE INEN 1855-2, of the results of the compressive strength, providing information for the calculation of the standard deviation, coefficient of variation and the construction of normal distribution graphs; parameters that denoted the quality control of the mixtures, the efficiency and behavior of the hardened concrete according to the cement content and the admixture applied within its design.

**Keywords:** analysis, admixture, compressive strength, naphthalenes, polycarboxylates.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### *1.1 Introducción*

La industria del hormigón premezclado ha crecido dentro del país por la facilidad de aplicación del producto, las bondades que le ofrecen a las estructuras a construirse tanto en estado fresco como endurecido. La implementación del hormigón dentro de la construcción ha generado la búsqueda de nuevos diseños de hormigón con adiciones como aditivos.

La empresa UCEM, proporciona una variedad de diseños de hormigón, los cuales dependen de las características de fundición, del tipo de estructura a fundir, la exposición de agentes externos a los que va a estar expuesto o condiciones predisuestas por el cliente. Por esta razón el uso del aditivo es diario y sin excepción alguna, entregando así hormigones con un excelente desempeño frente a las solicitudes a las que estará constantemente expuesta la estructura.

Por esto es importante hoy en día la aplicación de aditivos dentro de los diseños de hormigón, los cuales le proporcionan facilidades de fundición del hormigón en lugares de difícil ingreso, mejor trabajabilidad del hormigón, disminución de mano de obra durante la aplicación del producto final, reducción de mantenimiento en los equipos de transporte y puesta en obra de este, reducción de costos de materias primas, entre otros.

Sin embargo, el mínimo número de investigaciones y el poco conocimiento del buen uso de aditivos puede causar anomalías en el comportamiento del hormigón, por esta razón es necesario un análisis bajo normativa de las materias primas y de la

dosificación correcta en % de los aditivos según lo recomendado por los fabricantes para el uso del producto dentro de los diseños de hormigón despachados de planta.

En este sentido el propósito de este proyecto es la comparativa de la resistencia a la compresión de mezclas de hormigón patrón (sin aditivo), con aditivo sobre la base de naftalenos y con aditivos sobre la base de policarboxilatos, con la debida interpretación de los resultados, los cuales fueron analizados de forma estadística bajo la normativa, proporcionan así información teórica con respecto al comportamiento de las mezclas de hormigón en estado endurecido.

## ***1.2 Problema de estudio***

“Para inicios del siglo XX, las construcciones en el Ecuador consistían en grandes cimientos de piedras talladas (molones), las que desde sus inicios eran fundidas con una mezcla de tierra y agua revuelta (lodo)” (La-Hora, 2008). A partir de 1940 con la aparición del hierro, y la producción masiva de cemento, inicio la gran trayectoria de la industria del hormigón premezclado en nuestra ciudad que data de los años 70; es decir “se terminaron las viviendas de adobe y ladrillo trabado, esta técnica fue sustituida por las columnas de concreto y hierro, que permitieron que en el país se construyan edificios de más de tres pisos”(La-Hora, 2008).

Es por esto, que la industria del hormigón busca en la actualidad la innovación de acuerdo con los avances tecnológicos, según (Lascarro, 2017) “ 104 millones de metros cúbicos de hormigón fueron producidos en Latinoamérica” en el año 2016, adicional a esto, de acuerdo con el informe de Global Ready Concrete Mix Market, se estima un crecimiento del 8 % del mercado mundial del hormigón premezclado entre el 2017 al 2023 (Oliveira, 2018).

Para lograrlo se implementaron sistemas automatizados de dosificación,



equipos de transporte de hormigón con más capacidad, equipos de bombeo más versátiles, plantas con mezcladores centrales, sistemas tecnológicos de entregas a tiempo y sistemas de gestión para la calidad de su producción.

Por otro lado, la demanda actual de hormigón premezclado se ha incrementado conforme ha crecido la necesidad de infraestructura de la ciudad, según las estadísticas del (INEC, 2020) el cantón Quito D.M maneja 3754 edificaciones a construir en el año 2020, siendo esta la mayor demanda constructiva a nivel nacional. El hormigón premezclado en el Ecuador es uno de los materiales más utilizados en la construcción, siendo así el 96% usado en cimientos, 49% en pisos, 86% en estructuras y 48% en cubiertas (INEC, 2020).

Debido a esto, se han experimentado muchos cambios e innovación dentro de su fabricación y colocación. En la parte de innovación el desarrollo va de la mano con nuevos tipos de cemento, análisis de calidad de agregados bajo norma y aplicación de aditivos dentro del diseño de las mezclas, que están revolucionando la industria con lo cual se hacen edificaciones cada vez más altas y complejas.

De acuerdo con las exigencias constructivas, hoy en día, los aditivos son una parte fundamental en la composición de un excelente hormigón, los cuales proporcionan una fácil y correcta aplicación del producto final, en distintas estructuras como: taludes revestidos, hormigonado en clima frío y cálido, hormigones autonivelantes para estructuras de difícil acceso, hormigones expuestos a sulfatos, hormigonado sobre suelos húmedos, alta resistencia del hormigón, entre otros (Cadena, 2017).

A pesar de tener el proceso productivo en su mayoría automatizado, dentro de la industria de hormigón premezclado existen pocas investigaciones específicas que soporten la aplicación eficiente de los aditivos superplastificantes, sobre la base de naftalenos o sobre la base de policarboxilatos; que son utilizados para la elaboración de

hormigones estructurales, como la tesis del "Estudio experimental del uso de aditivos como plastificantes reductores de agua en la elaboración de hormigón y su influencia en la propiedad de resistencia a la compresión" (Campoverde & Muñoz, 2015).

Finalmente, como un indicador de avance de una región, hoy en día se realizan estadísticas y estimaciones del consumo per cápita del hormigón premezclado, en la región Latinoamérica en promedio es de  $0,169 \frac{\text{m}^3}{\text{hab-año}}$  en el año 2016, con respecto a EE. UU. con  $0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{hab-año}}$  Europa con  $0,4 - 1 \frac{\text{m}^3}{\text{hab-año}}$  (Lascarro, 2017), este es un valor inferior a los presentados por las demás regiones, por lo tanto es importante la repotenciación de la industria del hormigón, y el incremento de investigación con respecto a la aplicación de aditivos que nos ofrecen un mundo amplio y diverso de diseños de hormigón en el Ecuador.

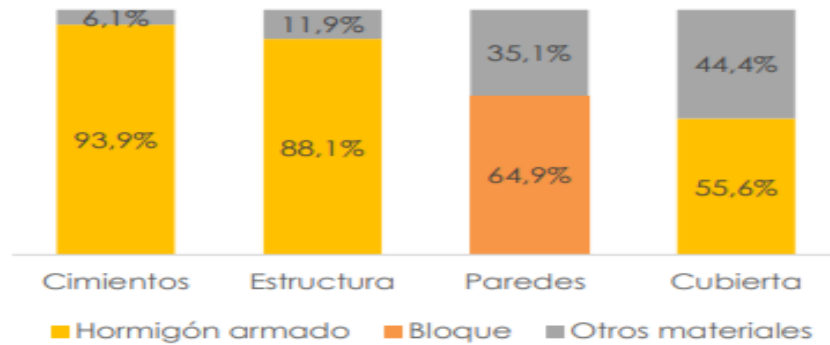
### ***1.3 Justificación***

La industria del hormigón premezclado actualmente está enfatizando no solo en su cadena productiva sino en brindar un servicio de alta calidad y desempeño en todos sus productos con lo cual podemos afirmar que es de alta importancia en la economía de nuestro país.

Según la Encuesta Nacional de Edificaciones (INEC, 2020) coloca al hormigón armado como el principal material de una edificación segmentado en cimentación 96%, estructura 86% y cubierta en un 48%.

**Figura. 1**

*Porcentaje de edificaciones a construir, según material de construcción por etapas de la obra.*



*Nota.* La figura 1 muestra otros materiales incluyen: Para cimientos: hormigón ciclópeo, pilotes de madera. Para estructuras metálicas, madera. Para paredes: madera, ladrillo, adobe, caña y prefabricados. Fuente: INEC (2019).

De acuerdo con el (INEC, 2020), en Quito D.M se proyectaba construir 11.045 viviendas (220.900 m<sup>3</sup> de hormigón), y 5.754 edificaciones varias (161.112 m<sup>3</sup> de hormigón); por esta razón la industria del hormigón premezclado ha presenciado un aumento en su demanda y mayores exigencia estructurales para las edificaciones. Por lo tanto, el uso de aditivos es esencial en los diseños, "el Instituto Mauá de Tecnología, ubicado en Sao Paulo, Brasil, sostiene que los aditivos hoy en día se utilizan para casi todas las aplicaciones de concreto" (Lira, 2021), por tres ventajas claves para la industria: mejor desempeño estructural, economía y disminución de consumo de materias primas.

La aplicaciones de aditivos en las mezclas de hormigón, proporciona características que en tiempos antiguos eran inimaginables, económicamente reduce el costo del cemento dentro de la mezcla debido a la reducción de la relación a/c, disminuye el mantenimiento de los equipos de transporte y conducción del hormigón en obra, le proporciona una vida útil más larga a las estructuras, disminuye el tiempo de puesta en

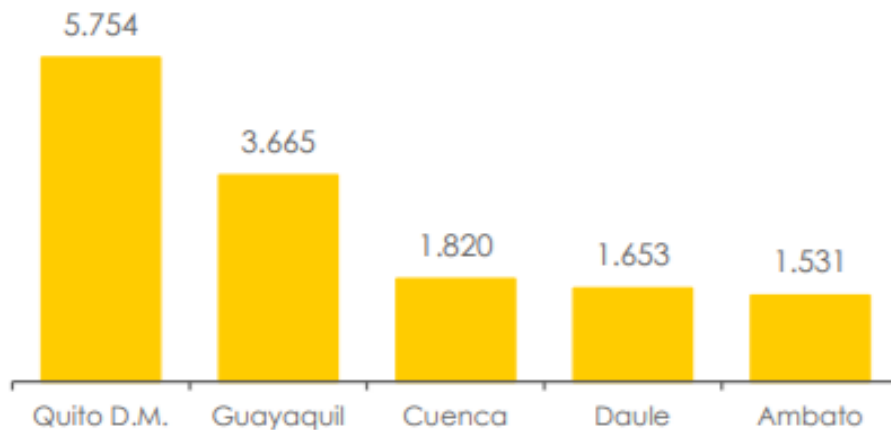
obra del producto, reduce el mantenimiento e intervención de las edificaciones, entre otras ventajas (Lira, 2021).

Por ende, los aditivos, son materiales que deben tener un cuidado especial en su dosificación, la cual depende de varios factores como: el tipo exposición a la que va a estar expuesto el hormigón, condiciones que debe cumplir en obra, condiciones climáticas, tipos de estructuras a fundir, entre otras.

Por lo tanto, es elemental el buen uso y aplicación de los aditivos en las mezclas de concreto, "en determinadas ocasiones, cuando el aditivo no se utiliza en las proporciones necesarias, suele provocar retrasos en el endurecimiento que son perjudiciales para el correcto desarrollo de la estructura de hormigón, o incluso la inserción involuntaria de aire" (Cadena, 2017).

**Figura. 2**

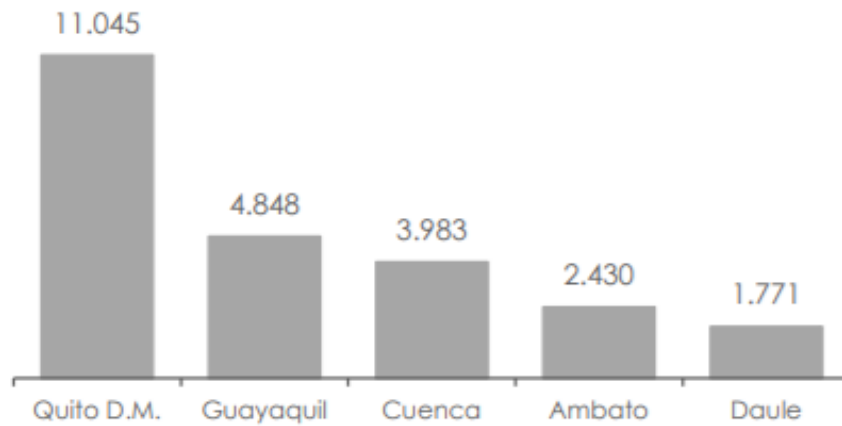
*Edificaciones a construir por principales cantones.*



*Nota.* La figura 2 muestra la estadística de las edificaciones dentro de los principales cantones, que serán construidas. Fuente: INEC (2019).

### Figura. 3

*Número de viviendas a construir por principales cantones.*



*Nota.* La figura 3 muestra la estadística del número de viviendas a construir por los principales cantones. Fuente: INEC (2019).

En el Ecuador existen regulaciones entre productor y consumidor establecidos en la norma (NTE-INEN-1855-1, 2015), que establece un marco técnico de cumplimiento sobre las características físico-mecánicas del Hormigón Premezclado, a la cual la industria en general de la construcción debe regirse.

Adicionalmente es importante recalcar que el hormigón también es muy utilizado en infraestructura vial ya que en nuestro país tenemos alrededor de 1.118 Km de pavimento rígido (16.6 % de todas las vías). Para lograr una correcta evaluación de los pavimentos rígidos existen métodos directos como el ensayo de vigas a flexo tracción (15x15x50 cm) con el cual se obtiene el módulo de rotura, sin embargo existe otros métodos indirectos o de correlación para obtener dicho módulo así como es el ensayo de compresión diametral (método brasileño).

En este contexto se pretende desarrollar un trabajo en conjunto con la industria de hormigón premezclado, se propone un análisis técnico que permita establecer parámetros de comparación sobre el uso eficiente de diferentes aditivos superplastificantes en la elaboración de hormigones estructurales, desarrollado mediante caracterización de

materias primas, diseños de mezclas y procesos productivos establecidos en la normativa aplicada a la industria.

#### ***1.4 Grupo objetivo (Beneficiarios)***

Los beneficiarios serán dos plantas industriales de hormigón premezclados de Concretos Chimborazo ubicadas en la ciudad de Quito.

#### ***1.5 Objetivos***

##### **1.5.1 General.**

Analizar de forma comparativa la resistencia a la compresión de hormigón endurecido en mezclas que tienen contenidos de cemento entre 250 kg/m<sup>3</sup> y 350 kg/m<sup>3</sup> con aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y base de policarboxilatos, por medio de ensayos a la compresión de probetas cilíndricas, para mejorar el proceso productivo de la industria de hormigón premezclado.

##### **1.5.2 Específicos.**

Diseñar bajo la norma ACI las mezclas de: hormigón patrón, con aditivo superplastificante sobre la base de naftalenos, y con aditivo superplastificante sobre la base de policarboxilatos, mediante el uso de hojas dinámicas de cálculo para la dosificación correcta de las pruebas de laboratorio e industriales.

Evaluar los resultados de resistencia a la compresión realizados a 7 -28 días de las probetas cilíndricas, según norma NTE INEN 1573, de los diseños de hormigón con aditivos sobre la base de naftalenos y aditivos sobre la base de policarboxilatos por medio de un estudio estadístico según la guía de la ACI 214-11R, proporcionando criterios para realizar optimizaciones en las mezclas que son parte de la producción en la industria de hormigón premezclado.

Detallar conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los resultados del estudio estadístico de la resistencia a la compresión de los diseños de hormigón con aditivos sobre base de naftalenos y aditivos sobre la base de polycarboxilatos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. *Estructura actual*

##### 2.1.1. **Planta de hormigón.**

Una planta de hormigón, sus materias primas y el almacenamiento de estas, en el Ecuador, deben cumplir con varias condiciones específicas, estipuladas en la norma NTE-INEN 1855-2, produciendo de esta forma una mezcla homogénea y de buena calidad, compuesta por: piedra, arena, agua, cemento y aditivos. La planta trabaja bajo un sistema de celdas de carga, bandas de distribución, tolvas, balanzas, silos, boca de carga, entre otros.

#### **Figura. 4**

*Planta de hormigón con mezclador central.*



*Nota.* La figura 4 muestra la planta de hormigón con mezclador central de la empresa UCEM (Unión Cementera Nacional). Elaborado por: Los autores.

##### 2.1.2. **Sistema automatizado de dosificación.**

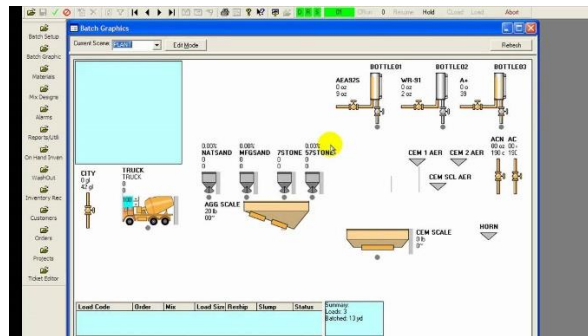
La empresa UCEM (Unión Cementera Nacional), aplica el uso de un sistema automatizado de dosificación, el cual es responsable de todo el ciclo de venta y despacho



de una empresa de hormigón, desde el momento en que el trabajo lo ordena hasta su descarga y regreso a la planta. Con las mediciones de los tiempos de programación y desplazamiento de la flota de hormigoneras, logran que la empresa de hormigón despache más metros cúbicos con menos recursos” (Oliveira, 2017b).

**Figura. 5**

*Interfaz del sistema automatizado de dosificación.*



*Nota.* La figura 5 muestra la pantalla de interfaz del sistema de dosificación automática.

Elaborado por: Los autores.

### 2.1.3. Equipos de transporte.

UCEM, tiene una flota de camiones mezcladores de hormigón, con una capacidad de 8 m<sup>3</sup>, que cumplen la función de transporte a obra del hormigón premezclado con personal calificado, para la entrega de un producto de calidad al cliente que solicite el servicio.

**Figura. 6**

*Camión mezclador de hormigón (mixer).*



*Nota.* La figura 6 muestra el mixer de UCEM. Elaborado por: Los autores.

#### **2.1.4. Equipos de colocación.**

UCEM, posee equipos denominados de colocación, ya que cumplen la función de impulsar el hormigón, a los puntos de descarga de este, garantizando la puesta en obra del hormigón premezclado, adicional a esto el equipo necesita del correcto armado de la tubería por la cual pasara el hormigón, además el uso correcto de aditivos en un diseño de hormigón homogéneo y la buena operación de la bomba, asegura un manejo adecuado del hormigón, reduciendo la posible pérdida del producto por taponamiento de las tuberías.

#### **Figura. 7**

*Equipo de colocación (bomba).*



*Nota.* La figura 7 muestra la bomba de UCEM. Elaborado por: Los autores.

#### **2.1.5. Equipos de laboratorio.**

El laboratorio de UCEM, posee los siguientes equipos y herramientas para la realización de todos los ensayos que son necesarios para el control del hormigón en obra e investigaciones dentro del mismo.

- ✓ Cilindros metálicos de dimensiones (100x200 mm)
- ✓ Cilindros plásticos de dimensiones (100x200 mm)
- ✓ Cono de Abrams
- ✓ Martillo de goma

- ✓ Olla para el contenido de aire
- ✓ Equipo para granulometría para agregado fino y grueso
- ✓ Máquina de los Ángeles (abrazión de agregado grueso)
- ✓ Prensa hidráulica para ensayo de cilindros

**Figura. 8**

*Prensa hidráulica para ensayar cilindros.*



*Nota.* La figura 8 muestra la prensa hidráulica del laboratorio de UCEM con uno de los cilindros, ya ensayado, de la tesis. Elaborado por: Los autores.

## **2.2 Situación actual**

### **2.2.1 Diseños de hormigón que se usan policarboxilatos.**

En la actualidad la industria del hormigón premezclado tiene una amplia aplicación de aditivos con base de policarboxilatos en muchos de sus diseños, y por el momento es un diferenciador muy importante en lo que a conseguir altas resistencias a la compresión se refiere.

### **2.2.2 Problemas más frecuentes.**

Por el momento se han presentado algunos problemas que han sido solventados con charlas de sensibilización, capacitaciones, etc. Algunos de estos problemas que podemos nombrar son:

- Limitada receptividad por parte de profesionales de la construcción.
- Poca información que existe sobre este tipo de aditivos en el mercado actual.
- Control de calidad más especializado.
- Capacitación constante al personal operativo, porque es quien lleva el productos al consumidor final.
- Rango limitado de ajuste en obra.

### **2.2.3 Aplicación de aditivos sobre la base de naftalenos o policarboxilatos**

#### **2.2.3.1 Investigaciones de aditivos sobre la base de policarboxilatos en productos de hormigón premezclado**

La empresa, UCEM ha realizado investigaciones, con respecto a nuevos productos aplicando el uso del aditivo sobre la base de policarboxilatos + otro tipo de aditivos, buscando hormigones que pueden ofrecer beneficios significantes en ciertos tipos de obras, como es el caso de los Hormigones Ligeros, los cuales fueron clasificados de acuerdo con sus características medidas en estado fresco y endurecido, en laboratorio.

Según el estudio realizado en la empresa, se clasifican en tres tipos de nuevos diseños, los cuales son: Hormigón ligero estructural (HLE), Hormigón ligero no estructural (HLNE) y Hormigón de muy baja densidad (HBD).

El Hormigón Ligero Estructural, se lo describe según las Instrucciones de Hormigón EHE-08 como “aquel hormigón de estructura cerrada, cuya densidad aparente, medida en condición de seco hasta peso constante, es inferior a 2.000 kg/m<sup>3</sup>, pero

superior a 1.200 kg/m<sup>3</sup> y que contiene una cierta proporción de árido ligero, tanto natural como artificial” (EHE-08, 2010, p. 639).

**Figura. 9**

*Dosificación de un hormigón HLE.*

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Resistencia a la compresión (por definir) | Fc = 240 - 280 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Cantidad de cemento                       | 450                                |
| Relación agua / cemento                   | 0,1                                |
| Relación de finos                         | 0,30                               |
| Agregados                                 | Arena San Antonio + Piedra Pómez   |
| Aditivos                                  | MasterGlenium 7950 + MasterAir     |

*Nota.* La figura 9 muestra la dosificación de la mezcla de prueba, y la combinación de aditivos usados en este caso. Fuente: Reinoso (2021).

**Figura. 10**

*Dosificación de un hormigón HLNE.*

|   |   |
|---|---|
| Resistencia a la compresión (por definir) | Fc = 50 - 80 kgf/cm <sup>2</sup>                |
| Cantidad de cemento                       | 500   |
| Relación agua / cemento                   | 0,2   |
| Relación de finos                         | 0,50  |
| Agregados                                 | Arena San Antonio + Piedra Pómez+ 3/8<br>Pintag |
| Aditivos                                  | MasterGlenium 7950 + SikaPoroplus               |

*Nota.* La figura 10 muestra la dosificación de la mezcla de prueba, y la combinación de aditivos usados en este caso. Fuente: Reinoso (2021).

**Figura. 11**

*Dosificación de un hormigón HBD.*

|   |   |
|---|---|
| Resistencia a la compresión (por definir) | Fc = 10 kgf/cm <sup>2</sup>                     |
| Cantidad de cemento                       | 420   |
| Relación agua / cemento                   | 0,225   |
| Relación de finos                         | 0,55  |
| Agregados                                 | Arena San Antonio + Piedra Pómez+ 3/8<br>Pintag |
| Aditivos                                  | MasterGlenium 7950 + SikaPoroplus               |

*Nota.* La figura 11 muestra la dosificación de la mezcla de prueba, y la combinación de aditivos usados en este caso. Fuente: Reinoso (2021).

### **2.2.3.2 Investigaciones de comparativos de aditivos sobre la base de naftalenos y aditivos sobre la base de policarboxilatos**

A nivel de investigaciones existen ya algunas publicaciones donde se determinan diferencias del hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido. Según (Diaz & Torrez, 2020) en su trabajo de investigación sobre el comportamiento del hormigón con diferentes tipos de aditivos superplastificantes, han determinado

- La dosificación del aditivo sobre la base de policarboxilatos en una cantidad del 5%, mostró un asentamiento de 150 mm.
- El asentamiento del hormigón con aditivos sobre la base de naftalenos tuvo un rendimiento ligeramente menor con respecto a los resultados con aditivos sobre la base de policarboxilatos.
- Los aditivos sobre la base de policarboxilatos con una dosificación entre 5%-10%, disminuyeron en su dosificación la cantidad de agua en un 22.9% a 18.7%.

Tomando los resultados de dicha investigación, podemos tener una perspectiva clara de a donde estará alineada la tendencias de los frutos de nuestra investigación. Mas investigación con respecto al comportamiento de los aditivos, generó conclusiones de los beneficios que los policarboxilatos le proporcionan al hormigón en estado fresco y endurecido.

Los beneficios que los aditivos sobre la base de policarboxilatos le proporcionan al hormigón según (Checmarew, 2010) son los siguientes: Bajas relaciones A/C, producción de hormigones autocompactantes, excelente rendimiento de trabajabilidad extendida, altas resistencias a edades tempranas, altas resistencias a edades finales, mejor comportamiento reológico del hormigón fresco.

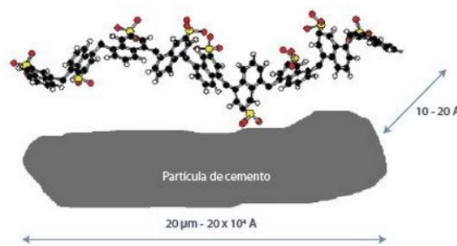
Además, los policarboxilatos tiene tres principios de acción química de dispersión: eléctrica, por absorción y repulsión estérica. Debido a su composición química de cadenas de polímeros acrílicos, las cuales superan en tamaño a las cadenas

que componen a los aditivos sobre la base de naftalenos como se ve en las figuras 12 y 13.

La composición química de los policarboxilatos es compleja, formando una molécula tridimensional, la cual proporciona un comportamiento en la partícula de cemento como: la creación de una capa de absorción que interrumpe por un tiempo la formación de etrignita, adicional a esto el gran largo de sus cadenas imposibilita la floculación, proporcionando así una alta fluidez al hormigón o mortero (Checmarew, 2010).

**Figura. 12**

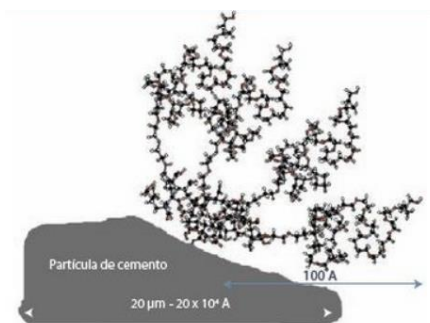
*Molécula de naftaleno.*



*Nota.* La figura 12 se muestra el tamaño de una partícula de cemento y el tamaño de las cadenas del aditivo sobre la base de naftalenos. Fuente: Checmarew (2010)

**Figura. 13**

*Molécula de Policarboxilato.*



*Nota.* La figura 13 se muestra el tamaño de una partícula de cemento y el tamaño de las cadenas del aditivo sobre la base de policarboxilatos. Fuente: Checmarew (2010)

La tecnología del hormigón continúa avanzando en sus estudios, para mejorar el comportamiento del hormigón frente a varias sollicitaciones y exigencias, como de comportamiento en obra e incluso de su propia puesta en obra. Siendo así, el uso de aditivos sobre la base de naftalenos y melaminas una tecnología tradicional de aditivos reductores de alto rango.

Como una de las conclusiones con respecto al comportamiento de los aditivos, analizados en la investigación, se generó una gráfica que discrimina como cada uno de los aditivos trabaja bajo los criterios de resistencia a la compresión, desarrollo de resistencias tempranas y trabajabilidad, figura 14.

**Figura. 14**

*Campos de acción de los aditivos reductores de agua de acuerdo con el desempeño.*



*Nota.* La figura 14 se muestra la comparativa de comportamiento según su desempeño, de acuerdo con los tipos de aditivos. Fuente: Checmarew (2010)

### 2.3 *Análisis del cemento HE Chimborazo*

De acuerdo con lo planteado por (Vidaud, 2013) en el año 2570 a.C. los Egipcios encontraron una mezcla diferente entre yeso, caliza y agua como mortero, que unieron



los grandes bloques de caliza, los mismos que conforman la gran pirámide Gizeh y muchas otras grandes construcciones que desarrollaron tiempo después.

Alrededor del año 500 a.C. los romanos aplicaban una mistura entre materiales volcánicos, caliza agua y arena. Tiempos después, en el siglo II a.C. crearon el llamado cemento puzolánico, conformado de caliza calcinada y ceniza volcánica, encontrada en Puzzoli, situándose este lugar en las cercanías del Vesubio (Oliveira, 2015).

Según (Vidaud, 2013) El día 21 de octubre de 1824 se patentó el llamado cemento Portland por Joseph Aspan y James Parker. Isaac Jonhson continuó con investigaciones y aumento, así la temperatura de calcinación generando el Clinker, adicional a esto, los franceses Vicat, Le Chatelier y el alemán Michaelis, obtuvieron un producto final homogéneo.

En la industria actual de la construcción, el cemento es el material idóneo que forma parte de la dosificación de mezclas de hormigón con distintas características, por tal razón existen varios tipos de cementos que modifican, junto con las demás materias primas el rendimiento del producto final tanto al momento del hormigonado como del desempeño estructural. Su clasificación es como se observa en la Figura 12.

### **Figura. 15**

#### *Tipos de cementos.*

- |   |
|---|
| <p><b>5.2.1</b> Tipo GU. Para construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales.</p> <p><b>5.2.2</b> Tipo HE. Alta resistencia inicial.</p> <p><b>5.2.3</b> Tipo MS. Moderada resistencia a los sulfatos.</p> <p><b>5.2.4</b> Tipo HS. Alta resistencia a los sulfatos.</p> <p><b>5.2.5</b> Tipo MH. Moderado calor de hidratación.</p> <p><b>5.2.6</b> Tipo LH. Bajo calor de hidratación.</p> |
|---|

*Nota.* La figura 15 muestra los tipos de cementos por su desempeño estipulados en la norma ecuatoriana y sus principales características. Fuente: NTE INEN 2380 (2011).

El cemento durante el transcurso de su historia ha sido por excelencia el mejor material aglutinante por su desempeño al ser parte de una mezcla de hormigón, la búsqueda de mejores características ha hecho que evolucione su composición de acuerdo con los agentes físicos y químicos a los que va a estar expuesto.

Por todas los beneficios que ofrece el uso del cemento de cualquier tipo, el consumo de este a nivel mundial es primordial, sin embargo a causa de la pandemia del COVID-19, el consumo de cemento en Latinoamérica en el año 2020 ha sufrido una contracción de la demanda, la cual alcanzaría un 6% como resultado de la caída económica debido a las estrictas medidas de cuarentena (Peters, 2020).

**Figura. 16**

*Demanda de cemento 2020.*



*Nota.* La figura 16 la disminución en la demanda de cemento a nivel mundial, sin embargo Brasil tiene un aumento del 4% en el consumo de cemento, debido a proyectos de reconstrucción y además Argentina por la hiperinflación y la pandemia ha sufrido una contracción en el mercado del cemento del 18%. Fuente: CW Research (2020).

UCEM, dentro del contexto del industrial del cemento, produce, comercializa y consume su propio producto a nivel nacional, los tipos de cementos promocionados son el tipo GU (Cemento Hidráulico) y HE (Cemento hidráulico de alta resistencia inicial), por las características prestadas el cemento tipo HE es el seleccionado en la producción diaria de UCEM concretos de las mezclas de hormigón en la ciudad de Quito. Las

características que este tipo de cemento le proporcionan a la mezcla son: durabilidad, mayor resistencia a la compresión, resistencia a ataques de sulfatos y mayor impermeabilidad.

### 2.3.1 Ficha técnica del cemento HE Chimborazo.

Cemento es un material que conforma el diseño de cualquier tipo de hormigón, que gracias al contacto que este tiene con el agua, áridos (grueso y fino) y adiciones como aditivos o fibras, produce una masa fluida y blanda, la cual cumple con varios requisitos bajo normativa tanto en estado fresco como endurecido y finalmente dicha mezcla es puesta en obra.

El cemento tipo HE “es producido con Clinker, adiciones minerales, sulfato de calcio, estos componentes son dosificados en la molienda obteniendo un producto de alta fineza y calidad” (UCEM, 2018, p.1). Este tipo de cemento por sus características brinda al hormigón resistencias a compresión a edades tempranas.

#### **Figura. 17**

*Cemento Chimborazo Tipo HE*



*Nota.* La figura 17 muestra el cemento Chimborazo industrial, cemento hidráulico de alta resistencia inicial Tipo HE, que comercializa la empresa UCEM. Fuente: UCEM (2018).

Las características del cemento tipo HE según (UCEM, 2018) son las siguientes:

- Durabilidad frente a la acción de agentes ambientales.

- Mayor resistencia a la compresión, debido a la composición química, el Clinker usado y la puzolana, además posee un bajo calor de hidratación y un mínimo contenido de álcalis solubles.
- Resistencia al ataque de sulfatos, gracias a la fijación de los hidróxidos de calcio presentes en la puzolana.
- Mayor impermeabilidad, disminución de la porosidad capilar, debido a la reacción de los aluminosilicatos entre los hidróxidos de calcio de la puzolana, mejorando considerablemente la protección que la mezcla de hormigón le proporciona a la estructura de acero dentro de los elementos de una construcción.

## **2.4 *Análisis de agregados (grueso y fino)***

### **2.4.1 Granulometría y módulo de finura.**

El hormigón, es una mezcla de varios componentes como: arena, piedra, agua, aditivo, cemento y agua, es decir las características independientes de cada uno de los componentes, influyen en el comportamiento y desempeño del producto, por esta razón se deben realizar varios ensayos, que proporcionen la información necesaria de todas las materias primas.

UCEM, maneja un stock de materias primas (figura 20), las cuales son sometidas a varios ensayos que están normados y especificados bajo el Instituto Ecuatoriano de Normalización, asegurando la calidad de los componentes que serán usados en la producción diaria de todas las plantas de la empresa.

En las dosificaciones del hormigón patrón, con naftalenos y con policarboxilatos, se usa la arena proveniente de San Antonio, y una piedra  $\frac{3}{4}$ " proveniente de Pintag,

dichas materias primas son caracterizadas en el laboratorio en intervalos de tiempo predispuesto por el área de control de calidad de la planta.

**Figura. 18**

*Propiedades físicas – agregado grueso*

| <b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO</b>                                    |   |                          |  |
|---|---|--------------------------|--|
| <b>MATERIAL:</b>  | 3/4" PINTAG   |                          |  |
| <b>PROCEDENCIA:</b>   | PINTAG-REVTON                                       |                          |  |
| <b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO (NTE INEN 857)</b>                         |   |                          |  |
| $Vd = P1 - P2$  | P1: Masa del agregado en SSS                        | 5300,00                  | g  |
|   | P2: Masa del agregado sumergido en agua             | 3106,00                  | g  |
| $P. esp. = \frac{P1}{Vd} \times 1000$   | Vd: Volumen desalojado                              | 2194,00                  | cm <sup>3</sup>  |
|   |   |                          | <b>P. Específico (kgf/cm<sup>3</sup>)</b><br>2415,68                               |
| <b>ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (NTE INEN 857)</b>                               |   |                          |  |
| $Abs. = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$  | P1: Masa del agregado SSS                           | 5300,00                  | g  |
|   | P2: Muestra seca                                    | 5107,00                  | g  |
|   |   |                          | <b>Absorcion (%)</b><br>3,78   |
| <b>PASANTE #200 (NTE INEN 697)</b>  |   |                          |  |
| $\#200 = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100$   | P1: Masa de la muestra                              | 2521,60                  | g  |
|   | P2: Muestra Muestra Retenida                        | 2506,60                  | g  |
|   |   |                          | <b>Malla #200 (%)</b><br>0,60  |
| <b>CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES EN EL AGREGADO</b> |   |                          |  |
| $P (\%) = \frac{(M - R)}{M} \times 100$   | M: Masa de la muestra de ensayo                     | 3023,00                  | cm <sup>3</sup>  |
|   | R: Masa de las partículas retenidas en el tamiz #20 | 3007,80                  | g  |
|   |   |                          | <b>P. Partículas de terrones de arcilla y partículas desmenuzables (%)</b><br>0,50 |
| <b>DETERMINACION DE LAS IMPUREZAS EN EL AGREGADO FINO (NTE INEN 855)</b>          |   |                          |  |
|   | Color determinado en el ensayo                      | 1                        |  |
|   | Color de acuerdo con la escala de Gardner           | 5                        |  |
|   | <b>COLOR PATRÓN</b>                                 | <b>ESCALA DE GARDNER</b> |  |
|   | 1   | 5                        |  |
|   | 2   | 8                        |  |
|   | 3   | 11                       |  |
|   | 4   | 14                       |  |
|   | 5   | 16                       |  |

*Nota.* La figura 18 muestra las propiedades físicas del agregado grueso que será utilizado para el desarrollo del presente estudio. Fuente: UCEM (2021).

**Figura. 19**

*Propiedades físicas – agregado fino*

| PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO  |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|--|---|--------------------------------|-----|--|---------|---|--|--|--------------|-------------------|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|
| <b>MATERIAL:</b>   | ARENA SAN ANTONIO                                     |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| <b>PROCEDENCIA:</b>  | DUEÑAS  |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO (NTE INEN 857)   |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| $Vd = \frac{(P4 - P1) - (P3 - P2)}{\frac{(P4 - P1)}{500}}$   | P1: Masa del Picnómetro vacío                         | 156,10                         | g   | <b>P. Específico (kgf/cm<sup>3</sup>)</b>                                  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | P2: Masa del Picnómetro+Agregado fino SSS             | 656,80                         | g   |  | 2465,10 |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| $P. esp. = \frac{(P2 - P1)}{Vd} \times 1000$   | P3: Masa del Picnómetro+Agregado fino SSS+agua        | 952,20                         | g   |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | P4: Masa del Picnómetro+500 ml (agua)                 | 653,60                         | g   |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | Vd: Volumen desalojado                                | 203,12                         | cm3 |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| ABSORCION DEL AGREGADO (NTE INEN 857)  |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| $Abs. = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$   | P1: Masa del agregado SSS                             | 508,20                         | g   | <b>Absorcion (%)</b>   |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | P2: Muestra seca                                      | 485,10                         | g   |  | 4,76    |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| PASANTE #200 (NTE INEN 697)  |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| $\#200 = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100$  | P1: Masa de la muestra                                | 1038,60                        | g   | <b>Malla #200 (%)</b>  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | P2: Muestra Muestra Retenida                          | 888,10                         | g   |  | 16,95   |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN TRAS UNA HORA DE SEDIMENTACIÓN (NTE INEN 864)   |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| $P(\%) = \frac{H \times 0,6}{A} \times 100$  | H: Volumen de la capa de material de partículas finas | 45,00                          | cm3 | <b>P. Partículas finas (%)</b>   |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | A: Masa de la muestra de ensayo                       | 505,90                         | g   |  | 5,34    |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES EN EL AGREGADO FINO (NTE INEN 698)   |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| $P(\%) = \frac{(M - R)}{M} \times 100$   | M: Masa de la muestra de ensayo                       | 106,40                         | cm3 | <b>P. Partículas de terrones de arcilla y partículas desmenuzables (%)</b> |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
|  | R: Masa de las partículas retenidas en el tamiz #20   | 104,80                         | g   |  | 1,50    |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| DETERMINACION DE LAS IMPUREZAS EN EL AGREGADO FINO (NTE INEN 855)  |   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| <table border="1"> <tr> <td>Color determinado en el ensayo</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Color de acuerdo con la escala de Gardner</td> <td>5</td> </tr> </table> |   | Color determinado en el ensayo | 1   | Color de acuerdo con la escala de Gardner                                  | 5       | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COLOR PATRÓN</th> <th>ESCALA DE GARDNER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table> |  |  | COLOR PATRÓN | ESCALA DE GARDNER | 1 | 5 | 2 | 8 | 3 | 11 | 4 | 14 | 5 | 16 |
| Color determinado en el ensayo   | 1   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| Color de acuerdo con la escala de Gardner  | 5   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| COLOR PATRÓN   | ESCALA DE GARDNER                                     |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| 1  | 5   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| 2  | 8   |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| 3  | 11  |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| 4  | 14  |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |
| 5  | 16  |                                |     |  |         |   |  |  |              |                   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |    |

*Nota.* La figura 19 muestra las propiedades físicas del agregado fino que será utilizado para el desarrollo del presente estudio. Fuente: UCEM (2021).

La granulometría, es un ensayo que nos permite saber la composición por tamaños de las partículas presentes en la arena o piedra, ya que un agregado con una composición uniforme que este dentro de los valores referenciales de la faja granulometría, proporcionada por la norma, es un excelente agregado.

**Figura. 20**

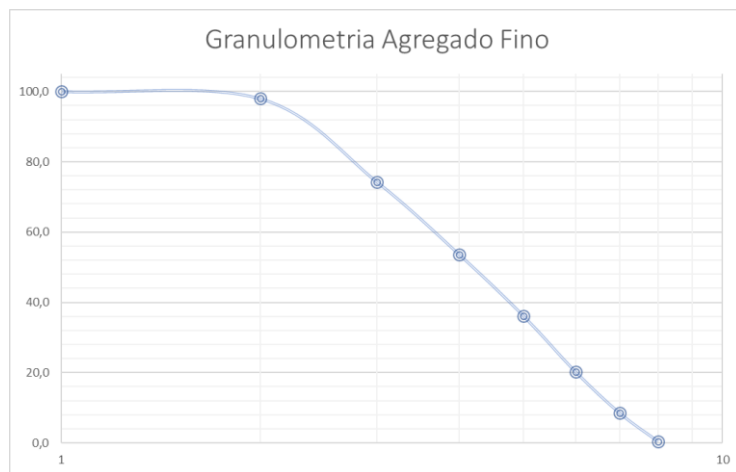
*Granulometría – agregado grueso*



*Nota.* La figura 20 muestra la curva granulométrica del agregado grueso a utilizarse en el presente estudio. Fuente: UCEM (2021).

**Figura. 21**

*Granulometría – agregado fino*



*Nota.* La figura 21 muestra la curva granulométrica del agregado fino a utilizarse en el presente estudio. Fuente: UCEM (2021).

El proceso de granulometría se lo realiza bajo normativa, tanto para agregado fino y grueso, según (INEN, 2014) “ las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente” (p.1).

Según la normativa NTE INEN 696, las muestras deben ser tomadas después de una homogenización adecuada, para mantener las mismas características del agregado, de acuerdo con (NTE-INEN-696, 2014) la muestra para el agregado fino en estado seco debe ser de 300 g, y de la muestra para el agregado grueso depende la Figura 19.

**Figura. 22**

*Tamaño de la muestra para ensayo de árido grueso.*

| Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas). | Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg) |
|---|---|
| 9,5   | 1   |
| 12,5  | 2   |
| 19,0  | 5   |
| 25,0  | 10  |
| 37,5  | 15  |
| 50  | 20  |
| 63  | 35  |
| 75  | 60  |
| 90  | 100   |
| 100   | 150   |
| 125   | 300   |

*Nota.* La figura 22 denota la muestra que se debe tomar en kg, dependiendo del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del árido en mm. Fuente: NTE INEN 696 (2011).

**Figura. 23**

*Stock de agregado fino.*



*Nota.* La figura 23 muestra el stock de agregado fino, en la empresa UCEM. Elaborado por: Los autores.



### **2.4.2 Contenido orgánico para la arena.**

El ensayo del contenido orgánico, se lo debe realizar en las arenas, las cuales pueden estar contaminadas por materia orgánica, que al estar presentes en la composición del hormigón premezclado, pueden causar varios daños en el desempeño y comportamiento de este.

La prueba de laboratorio está bajo la norma NTE INEN 855, el procedimiento se lo realiza a una muestra de árido fino que “se le agrega una solución normalizada de hidróxido de sodio, se la agita y luego de 24 horas se compara el color del líquido que sobrenada la muestra con el color de la solución normalizada o con el comparador de colores”(INEC, 2010, p.1).

### **2.4.3 Abrasión del agregado grueso.**

El ensayo de abrasión proporciona la información con respecto a la dureza que el agregado grueso aporta a la resistencia que el hormigón premezclado tenga en obra. El procedimiento es el siguiente según norma, la muestra tomada, de acuerdo con la gradación que esta tenga, debe ser ingresada en la máquina de los ángeles, con su respectivo número de esferas metálicas, “luego de un número especificado de revoluciones, se retiran los contenidos del tambor y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida (INEC, 2011, p.1).

El primer paso es, el lavado de la muestra consecuentemente debe ser secada en el horno, para tener una mezcla constante, después se debe proceder con la separación de esta por tamaños, y recombinarla para obtener la gradación de la figura 24.

## Figura. 24

*Gradación de las muestras de ensayo.*

| Tamaño de las aberturas de tamiz (mm)<br>(aberturas cuadradas) |             | Masa por tamaños indicada (g) |            |            |            |
|--|-------------|-------------------------------|------------|------------|------------|
| Pasante de   | Retenido en | Gradación                     |            |            |            |
|  |             | A                             | B          | C          | D          |
| 37,5   | 25,0        | 1 250 ± 25                    | ---        | ---        | ---        |
| 25,0   | 19,0        | 1 250 ± 25                    | ---        | ---        | ---        |
| 19,0   | 12,5        | 1 250 ± 10                    | 2 500 ± 10 | ---        | ---        |
| 12,5   | 9,5         | 1 250 ± 10                    | 2 500 ± 10 | ---        | ---        |
| 9,5  | 6,3         | ---                           | ---        | 2 500 ± 10 | ---        |
| 6,3  | 4,75        | ---                           | ---        | 2 500 ± 10 | ---        |
| 4,75   | 2,36        | ---                           | ---        | ---        | 5 000 ± 10 |
| Total  |             | 5 000 ± 10                    | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 |

*Nota.* La figura 24 muestra la gradación de la muestra que será ensayada en la máquina de los Ángeles. Fuente: NTE INEN 860 (2010).

Según su gradación, la norma establece el número de esferas y la muestra que debe ingresar a la máquina de los Ángeles, como se ve en la figura 25.

## Figura. 25

*Especificaciones para la carga.*

| Gradación | Número de esferas | Masa de la carga (g) |
|-----------|-------------------|----------------------|
| A         | 12                | 5 000 ± 25           |
| B         | 11                | 4 584 ± 25           |
| C         | 8                 | 3 330 ± 20           |
| D         | 6                 | 2500 ± 15            |

*Nota.* La figura 25 muestra la masa que debe ser cargada, el número de esferas que deben ser ingresadas en la máquina de los ángeles, según la gradación que la muestra presente, según la Figura 9. Fuente: NTE INEN 860 (2010).

### 2.4.4 Pasante 200 de la arena.

El método del pasante del tamiz número 200, esta normado por la NTE INEN 697, se lo realiza tanto a áridos finos y gruesos, ya que nos permite saber la cantidad de partículas finas que pasan este tamiz, las cuales están presentes en la granulometría de ambas materias primas.

Según normativa, hay dos formas de realizar este ensayo dependiendo de la condición en la que se encuentren las partículas gruesas con respecto a las finas, que componen el árido, la primera es por lavado del árido con agua potable sobre el tamiz 200, y la segunda mediante el uso de un agente dispersor en el agua, en el caso de haber partículas finas pegados en la superficie del árido grueso (NTE-INEN-697, 2010) .

## **2.5 *Análisis del agua de mezcla***

Todos los materiales que forman parte de la mezcla del hormigón deben ser debidamente analizados y cumplir varios parámetros dispuestos en la normativa ecuatoriana, con respecto al agua usado en la producción de hormigón, debe cumplir con los requisitos de la norma NTE INEN 1108. Esta norma proporciona tablas con límites de contenido químicos, orgánico, microbiológico, entre otros que puede contener el agua para ser considerada potable.

Este análisis se lo debe realizar para garantizar la calidad de este recurso, ya que dichos contenidos de cualquier tipo presentes en el agua de amasado y curado pueden afectar las características de hormigón premezclado, por esta razón debe ser agua potable la que esté presente tanto en el proceso de hidratación del cemento como en el proceso de curado de las probetas del hormigón endurecido.

## **2.6 *Análisis de aditivos***

Alrededor del siglo XX se aprobó la patente para el uso de aditivos de lignosulfato. Tiempo después, apareció en el año 1938 la patente para el uso y fabricación del aditivo sobre la base naftalenos, consecuentemente se originaron los aditivos sobre la base de policarboxilatos dentro del mercado de la construcción.

Así los concretos en la actualidad no son vistos solamente como mezclas de cemento, agua y agregados, estos contienen también adiciones de minerales y aditivos,

los cuales poseen determinadas características, con el fin de promover el concreto con efectos específicos, convirtiéndolos más aptos para diferentes aplicaciones.

De acuerdo con la aparición de los aditivos dentro del ámbito de la construcción, se los denomina por generaciones. “Primera generación: los lignosulfonatos, segunda generación: los policondensados derivados de naftalenos y melaninas, así como los copolímeros de vinil y tercera generación: donde entran los policarboxilatos, poliacrilatos y los alcoholes monovinílicos”(Arriaga, 2017, p.3).

### **2.6.1 Ficha técnica aditivo con base de policarboxilatos.**

De acuerdo con la bibliografía, respecto a los aditivos superplastificantes tipo I, y tipo II, su función dentro del hormigón es la misma, sin embargo su composición química es diferente, ya que “los nuevos aditivos, basados en éteres policarboxílicos, basan su efecto dispersante en importantes cadenas laterales y, mucho menos, en la pura repulsión electrostática” (Valverde et al., 2018, p. 5).

“Los aditivos plastificantes y superplastificantes, además de permitir la reducción de la relación a/c para una consistencia dada de una mezcla, pueden también propiciar un aumento de fluidez, si la cantidad de agua en la mezcla fuese mantenida constante” (De Carvalho et al., 2016, p. 3).

Debido a todas las características que los policarboxilatos poseen, la empresa UCEM, usa dentro de sus diseños este tipo de aditivo, según (MBS, 2015a), “es muy efectivo para producir mezclas de concreto con diferentes niveles de trabajabilidad y retención de asentamiento, incluyendo aplicaciones que requieren el uso de concreto autonivelantes” .

Sin embargo, en la actualidad “la industria de los aditivos químicos busca nuevas posibilidades para reducir el nivel de agua en las mezclas y, en este punto, la adopción del Policarboxilato es la tendencia. Pero, aunque está creciendo, todavía se está

introduciendo el uso de Policarboxilato en los mercados latinoamericanos” (Oliveira, 2017a).

La dosificación del aditivo en una mezcla se la debe hacer, de acuerdo con las recomendaciones que predispone el fabricante en su ficha técnica, según (MBS, 2015a), recomienda de 0.2 a 0.1 % del peso del material cementicio, que contenga la mezcla de hormigón. Sin embargo, son valores referenciales, que deben ser tomados en cuenta, por el analista de calidad, el cual maneja un criterio técnico, para seleccionar los diseños que se despachan en planta.

Las ventajas que este aditivo proporciona al hormigón premezclado según (MBS, 2015a), son:

- ✓ Aumenta la resistencia y durabilidad del hormigón.
- ✓ Disminución de la necesidad de vibración.
- ✓ Efectividad del aditivo con base en policarboxilatos, trabajando solo o formando parte de un sistema de aditivos de la misma casa comercial.
- ✓ Aumento de las resistencias a la compresión del hormigón, tanto a compresión como a flexión en todas las edades.
- ✓ Disminución de costos variables y mayor productividad, beneficiando económicamente al equipo de construcción.
- ✓ Disminución de las contracciones propias del hormigón y proporcionando un aumento a la vida útil de las estructuras.
- ✓ Disminución de relación A/C para un asentamiento predispuesto.
- ✓ Menor segregación.
- ✓ Impecable desempeño con hormigones proyectados, debido a su reducción efectiva de contenido de agua en la mezcla.

### **2.6.2 Ficha técnica aditivo con base de naftalenos.**

Este tipo de aditivos tiene la función fundamental de mejorar las características del hormigón, según (MBS, 2015b), el aditivo con base de naftalenos "es un aditivo reductor de agua de alto rango, formulado para producir hormigón rheoplástico". Por lo tanto, dentro de la industria hormigonera, se dispone de una variedad de diseños de mezclas, que dependen de las necesidades de la obra para definir el uso de cualquier aditivo.

Tal como en el caso del aditivo con base de policarboxilatos, el fabricante recomienda valores referenciales para el aditivo con base de naftalenos, de acuerdo con (MBS, 2015b), la dosificación de este aditivo debe ser de 0.65 a 1.6 % del peso del material cementicio. Estos valores están bajo el criterio técnico del analista de calidad decida, según su experiencia con respecto al desempeño y eficiencia de este aditivo en obra.

Las ventajas que este aditivo proporciona al hormigón premezclado según (MBS, 2015b), son:

- ✓ Reducción de energía necesaria, para la consolidación adecuada del elemento.
- ✓ Aumento de productividad acompañado con la reducción de tiempos y costos de obra.
- ✓ Aumento de resistencias del hormigón a edades tempranas, permitiendo la aplicación de métodos de construcción acelerados.

## CAPÍTULO III

### 3. Metodología

El presente trabajo será desarrollado por un lado, con una metodología de investigación mixta, porque se enfocará en mejorar el proceso productivo modificando las condiciones de evaluación en la implementación de aditivos superplastificantes, soportada en el análisis de datos provenientes de pruebas de laboratorio y pruebas industriales realizados al hormigón premezclado en estado endurecido.

Por otro lado, una investigación documental por la información que será sometida a revisión; y finalmente una investigación comparativa sobre las diferencias encontradas en la aplicación de distintos aditivos superplastificantes. Con los resultados de las metodologías de investigación antes explicadas se estructurará información específica que servirán para tomar decisiones sobre la aplicación de aditivos superplastificantes dentro de la industria del hormigón premezclado.

Con base en lo indicado anteriormente la presente investigación de titulación tendrá la consecución de las siguientes actividades:

- ✓ Análisis de la situación actual de la aplicación de aditivos sobre la base de policarboxilatos en la industria del hormigón premezclado.
- ✓ Analizar las características físicas y mecánicas del agregado fino, proveniente de la zona de San Antonio de Pichincha (Arena de banco):
  - Granulometría bajo la norma NTE INEN 696.
  - Determinación de las impurezas orgánicas bajo la norma NTE INEN 855.
  - Determinación del material que pasa el tamiz 200 bajo la norma NTE INEN 697-1.

- ✓ Analizar las características físicas y mecánicas del agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ , proveniente de la zona de Pintag (Andesita Basáltica):
  - Granulometría bajo la norma NTE INEN 696
  - Determinación del grado de abrasión bajo la norma NTE INEN 860
- ✓ Realizar los diseños de mezclas para las pruebas de laboratorio e industriales según norma ACI.
- ✓ Realizar los ensayos de hormigón fresco y endurecido:
  - Muestreo de concreto fresco bajo la norma ASTM C172.
  - Determinación del asentamiento del hormigón fresco bajo la norma ASTM C143/C143M – 20.
  - Determinación del peso específico del hormigón premezclado bajo la norma ASTM C138.
  - Elaboración de probetas de hormigón bajo la norma ASTM C31.
  - Curado de las probetas de hormigón bajo la norma ASTM C31.
  - Ensayo a la compresión de probetas de hormigón a 7 y 28 días bajo la norma ASTM C39.
  - Agua potable requisitos bajo la norma NTE INEN 1108.
- ✓ Registrar todos los datos obtenidos de las pruebas y ensayos realizados al hormigón fresco y endurecido en los formatos establecidos de la industria de hormigón premezclado.
- ✓ Analizar estadísticamente los datos de resistencia a la compresión obtenida de 15 lotes como lo especifica la ACI 214-11R, para argumentar las conclusiones y recomendaciones que se dará a la industria del hormigón premezclado. Cada lote consta de un diseño de hormigón patrón, un diseño de hormigón con superplastificante sobre base de naftalenos y un diseño de hormigón sobre



base de policarboxilatos variando la cantidad de cemento por metro cúbico como consta en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Pruebas a ensayarse por lote*

| Lote # 1  | Tipo de mezcla                  |           |           |            |           |                  |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------------|
|   | Cemento<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Patrón    |           | Naftalenos |           | Policarboxilatos |
|   |                                 | Días      |           |            |           |                  |
|   | 7                               | 28        | 7         | 28         | 7         | 28               |
| 250   | 3                               | 3         | 3         | 3          | 3         | 3                |
| 275   | 3                               | 3         | 3         | 3          | 3         | 3                |
| 300   | 3                               | 3         | 3         | 3          | 3         | 3                |
| 325   | 3                               | 3         | 3         | 3          | 3         | 3                |
| 350   | 3                               | 3         | 3         | 3          | 3         | 3                |
| <b>Total</b>  | <b>15</b>                       | <b>15</b> | <b>15</b> | <b>15</b>  | <b>15</b> | <b>15</b>        |
| <b>90 especímenes de hormigón endurecido por lote</b> |                                 |           |           |            |           |                  |

*Nota.* La tabla 1 muestra el número de especímenes a ensayarse en cada prueba, según el contenido de cemento, el tipo de mezcla y cuantos cilindros se tomarán a 7-28 días. Elaborado por: Los autores.

### **3.1. Diseño de mezclas para pruebas de laboratorio**

El diseño de las mezclas incluye consideraciones como el contenido de cemento que va a tener cada una de las dosificaciones (tabla1), el asentamiento de  $18 \pm 4$  cm, relación A/C que será modificada de acuerdo con los valores retenidos al momento de las pruebas de laboratorio, el porcentaje de aditivo dosificado estará en los mismos valores para verificar el rendimiento de estos en igual condición.

Las cantidades de cemento con las cuales se trabajarán para la dosificación de los diseños de la tesis están dentro de los parámetros normales que se maneja dentro de la producción y de los hormigones despachados en la industria del hormigón premezclado, es importante la cantidad de material cementante en las mezclas, ya que es el material activo que en mayor cantidad posible en el concreto le proporciona una mayor resistencia a este.

Además, el cemento al tener contacto con el agua, produce una pasta blanda, llamada matriz la cual tiene una relación de trabazón y adherencia con los agregados siendo esta la parte inerte de la mezcla, por lo tanto la cantidad de cemento debe ser estimada y controlada ya que al sobre dosificar el material cementante "este no se hidrata totalmente y por tanto pasa a formar parte del concreto como un material inerte de relleno" (Niño, 2010).

Como se muestra en la tabla 1, se realizarán pruebas de dosificaciones patrón (sin aditivos en su diseño), pruebas con aditivos sobre la base de naftalenos y pruebas con aditivos sobre la base de policarboxilatos.

### **3.1.1. Diseño de mezclas para pruebas de laboratorio con aditivos sobre la base de naftalenos y con aditivos sobre la base de policarboxilatos.**

El diseño, es la determinación de las proporciones que debe tener el hormigón, que dependen de las características deseadas que debe cumplir este en obra. Por esta razón la importancia de las condiciones de carga y exposición a las cuales se enfrentará el hormigón.

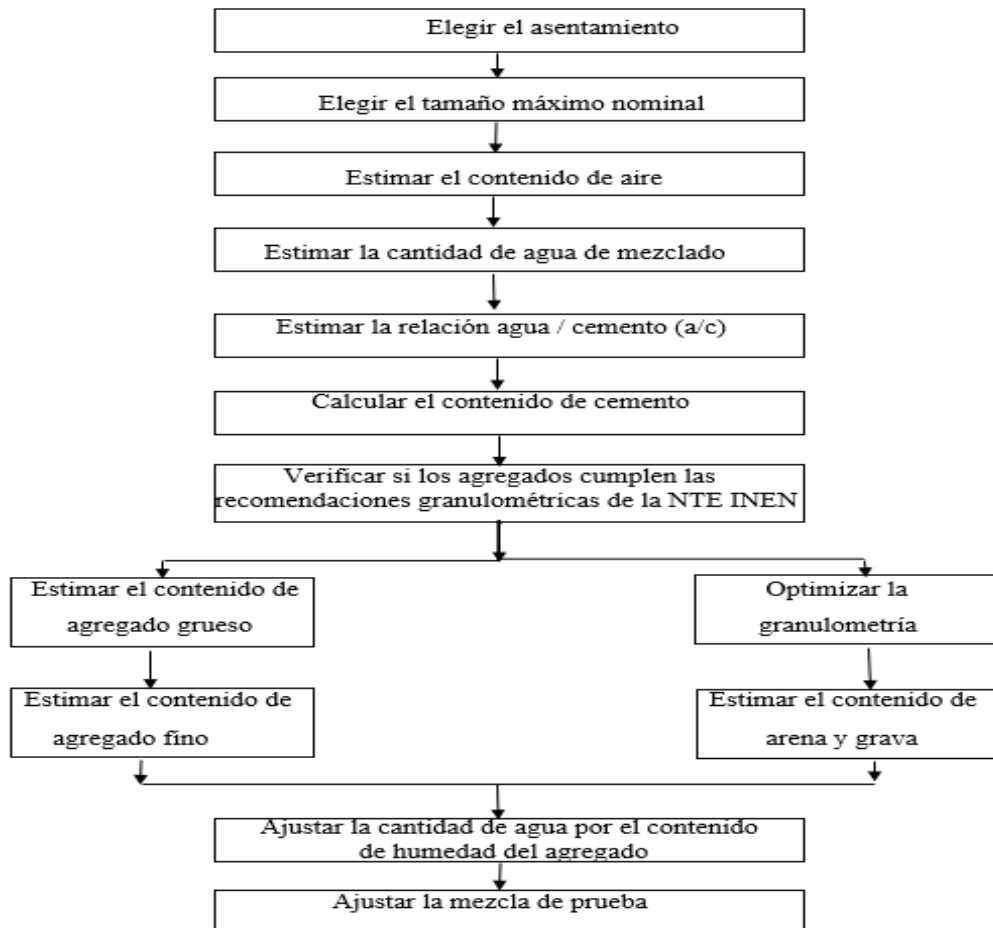
La composición aplicada para el diseño de las mezclas es: contenidos de cemento HE de 250-350 kg, arena de San Antonio, piedra 3/4" de Pintag, agua y aditivo sobre la base de naftalenos, estableciendo un asentamiento de  $18 \pm 4$  cm, predisponiendo relaciones A/C variables con respecto al contenido de cemento, % de aditivo en el diseño

de la mezcla según las recomendaciones del fabricante y la experiencia de la analista de calidad de UCEM.

El procedimiento de cálculo, se lo aplico bajo la normativa ACI, revisando la caracterización de los áridos seleccionados, adicional a esto la corrección del diseño por humedad, tanto para las mezclas de laboratorio como para las pruebas industriales. La dosificación, se obtuvo mediante el uso de hojas de cálculo siguiendo los procedimientos de la ACI.

**Figura. 26**

*Diseño de hormigón*



*Nota.* La figura 26 muestra un flujo grama para el diseño de hormigón según ACI. Fuente:

J. Niño (2010).

Los cálculos son los siguientes

- ✓ Asentamiento de  $18 \pm 4$  cm.
- ✓ Relación A/C de acuerdo con la tabla 2, siendo estos valores predispuestos para el cálculo de los contenidos de las demás materias primas.

**Tabla 2**

*Porcentaje de aditivo con base de naftalenos.*

| Contenido de cemento<br>(kg) | Aditivo con base de naftalenos (%) |
|------------------------------|------------------------------------|
| 250                          | 0.80                               |
| 275                          | 0.70                               |
| 300                          | 0.60                               |
| 325                          | 0.55                               |
| 350                          | 0.50                               |

*Nota.* La tabla 2 muestra, la relación A/C, bajo el criterio y recomendación del área de calidad de UCEM. Elaborado por: Los autores.

- ✓ La cantidad de agua de la dosificación se la calcula con la relación A/C de la tabla 2.

$$\frac{A}{C} = 0.5 - 0.8$$

$$A = C \times (0.5-0.8)$$

$$A = 250 \text{ kg} \times 0.8$$

$$A = \mathbf{200 \text{ kg}}$$

- ✓ Volumen de agua

$$vol. \text{ agua} = \frac{A}{\rho}$$

$$vol. agua = \frac{200 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$vol. agua = 0.2 \text{ m}^3$$

$$vol. agua = 0.2 \text{ m}^3 \times 1000 = 200 \text{ l}$$

- ✓ Contenido de aire, un valor constate de 1.5 %.

$$Aire = 1 \text{ m}^3 \times 1.5\%$$

$$Aire = vol. aire = 0.015 \text{ m}^3$$

- ✓ Volumen de aire

$$vol. aire = Aire \times 1000$$

$$vol. aire = 0.015 \text{ m}^3 \times 1000$$

$$vol. aire = 15 \text{ l}$$

- ✓ Volumen cemento

$$vol. cemento = \frac{cant. cemeneto}{\rho}$$

$$vol. cemento = \frac{250 \text{ kg}}{2990 \text{ kg/m}^3}$$

$$vol. cemento = 0.0836 \text{ m}^3$$

$$vol. cemento = 0.0836 \text{ m}^3 \times 1000 = 83.61 \text{ l}$$

- ✓ Volumen de aditivo

$$vol. aditivo = \frac{cant. cemento \times \% aditivo}{\rho}$$

$$vol. aditivo = \frac{250 \text{ kg} \times 0.8\%}{1200 \text{ kg/m}^3}$$

$$vol. cemento = 0.0017 \text{ m}^3$$

$$vol. cemento = 0.0017 \text{ m}^3 \times 1000 = 1.67 \text{ l}$$

- ✓ Volumen de arena

$$vol. arena = ((1 - vol. agua + vol. cemento + vol. aire + vol. aditivo) \times \%relacion\ de\ finos) \times \%agregado\ fino$$

$$vol. arena = ((1 m^3 - 0.2 m^3 + 0.0836 m^3 + 0.015 m^3 + 0.017 m^3) \times 62\%) \times 100\%$$

$$vol. arena = 0.4276 m^3 \times 1000 = 427.6 l$$

✓ Volumen de grava

$$vol. grava = ((1 - vol. agua + vol. cemento + vol. aire + vol. aditivo + vol. arena) \times \%agregado\ fino)$$

$$vol. grava = ((1 m^3 - 0.2 m^3 + 0.0836 m^3 + 0.015 m^3 + 0.017 m^3 + 0.4276) \times 100\%)$$

$$vol. grava = 0.2621 m^3 \times 1000 = 262.1 l$$

✓ Cantidad de materiales en kg en estado (SSS)

- *Cemento = 250 kg*
- *Agua (sss) = 200 kg*
- *Aire = 0 kg*
- *Arena (sss) = 1075.84 kg*

$$Arena (sss) = 0.4276 m^3 \times 2516 kg/m^3$$

$$Arena (sss) = 1075.84 kg$$

- *Grava (sss) = 637.43 kg*

$$Grava (sss) = 0.2621 m^3 \times 2432 kg/m^3$$

$$Grava (sss) = 637.43 kg$$

- *Aditivo = 2 kg*

$$Aditivo = 0.017 m^3 \times 1200 kg/m^3$$

$$Aditivo = 2 kg$$

✓ Cantidad de los materiales en kg en estado seco

- *Cemento* = 250 kg
- *Agua* = 284.11 kg

$$Agua = Agua (sss) + \left( \frac{Abs.grava \times grava (sss)}{100} + \frac{Abs.arena \times arena(sss)}{100} \right)$$

$$Agua = 200 \text{ kg} + \left( \frac{5.6 \times 637.43 \text{ kg}}{100} + \frac{4.5 \times 1075.83 \text{ kg}}{100} \right)$$

$$\mathbf{Agua = 284.11 \text{ kg}}$$

- *Aire* = 0 kg
- *Arena* = 1027.49 kg

$$Arena = Arena (sss) - \left( \frac{Abs.arena \times arena(sss)}{100} \right)$$

$$Arena = 1075.83 - \left( \frac{4.5 \times 1075.83}{100} \right)$$

$$\mathbf{Arena = 1027.49 \text{ kg}}$$

- *Grava* = 601.72 kg

$$Grava = Grava (sss) - \left( \frac{Abs.grava \times grava(sss)}{100} \right)$$

$$Grava = 637.43 - \left( \frac{5.6 \times 637.43}{100} \right)$$

$$\mathbf{Grava = 601.72 \text{ kg}}$$

- *Aditivo* = 2 kg

✓ Cantidad de materiales en kg con corrección de humedad de los agregados

- *Cemento* = 250 kg
- *Agua. corregida* = 253.23 kg

$$Agua. corregida = Agua (sss) - ((Arena. corregida -$$

$$Arena(sss)) + (Grava. corregida - Grava (sss))$$

$$Agua. corregida = 200 - ((1050.09 - 1075.91) + (610 - 637.41))$$

$$\mathbf{Agua. corregida = 253.23 \text{ kg}}$$

- *Aire* = 0 kg

- *Arena.corregida* = 1050.09 kg

$$\text{Arena.corregida} = \text{Arena (sss)} \times \left( 1 + \frac{\text{hum.arena} - \text{abs.arena}}{100} \right)$$

$$\text{Arena.corregida} = 1075.83 \times \left( \frac{2.1 - 4.5}{100} \right)$$

$$\text{Arena.corregida} = \mathbf{1050.09 \text{ kg}}$$

- *Grava.corregida* = 610 kg

$$\text{Grava.corregida} = \text{Grava (sss)} \times \left( \frac{\text{hum.grava} - \text{abs.grava}}{100} \right)$$

$$\text{Grava.corregida} = 637.43 \times \left( \frac{1.3 - 5.6}{100} \right)$$

$$\text{Grava.corregida} = \mathbf{610 \text{ kg}}$$

- *Aditivo* = 2 kg

✓ Cantidades de materiales en kg para mezclas de laboratorio que necesitan de  $0.025 \text{ m}^3$  de cada uno de los materiales, que fueron calculados para  $1 \text{ m}^3$

- *Cemento (0.025)* = 6.25 kg

$$\text{Cemento (0.025)} = \text{Cemento} \times 0.025$$

$$\text{Cemento (0.025)} = 250 \text{ kg} \times 0.025$$

$$\text{Cemento (0.025)} = \mathbf{6.25 \text{ kg}}$$

- *Agua (0.025)* = 6.33 kg

$$\text{Agua (0.025)} = \text{Agua.corregida} \times 0.025$$

$$\text{Agua (0.025)} = 253.23 \text{ kg} \times 0.025$$

$$\text{Agua (0.025)} = \mathbf{6.33 \text{ kg}}$$

- *Aire* = 0 kg

- *Arena (0.025)* = 26.25 kg

$$\text{Arena (0.025)} = \text{Arena.corregida} \times 0.025$$

$$\text{Arena (0.025)} = 1050.09 \text{ kg} \times 0.025$$

$$\text{Arena (0.025)} = \mathbf{26.25 \text{ kg}}$$



- $Grava (0.025) = 15.25 \text{ kg}$

$$Grava (0.025) = Grava. corregida \times 0.025$$

$$Grava (0.025) = 610 \text{ kg} \times 0.025$$

$$\mathbf{Grava (0.025) = 15.25 \text{ kg}}$$

- $Aditivo (0.025) = 2 \text{ kg}$

$$Aditivo (0.025) = Aditivo \times 0.025$$

$$Aditivo (0.025) = 2 \text{ kg} \times 0.025$$

$$\mathbf{Aditivo (0.025) = 0.050 \text{ kg}}$$

**Tabla 3**

*Dosificación en laboratorio para un contenido de cemento de 250 kg/m<sup>3</sup>*

| Tipo de mezcla                            | Patrón | Naftaleno | Policarboxilato |
|---|--------|-----------|-----------------|
| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250    | 250       | 250             |
| Materias Primas                           | (kg)   | (kg)      | (kg)            |
| Cemento                                   | 6.25   | 6.25      | 6.25            |
| Agua                                      | 6.33   | 6.33      | 6.68            |
| Arena San Antonio                         | 25.99  | 26.25     | 25.99           |
| Piedra 3/4"                               | 15.16  | 15.25     | 15.16           |
| Aditivo                                   | ---    | 0.0500    | 0.0500          |
| A/C                                       | 0.80   | 0.80      | 0.80            |

*Nota.* La tabla 3 muestra, la dosificación de las mezclas del lote 1 para un contenido de cemento de 250 kg/m<sup>3</sup> para un volumen de 25 litros. Elaborado por:

Los autores.

### 3.2. *Pruebas de laboratorio*

#### **3.2.2 Pruebas de laboratorio con aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos.**

Para la dosificación de las mezclas sobre la base de naftalenos, se optaron valores dentro de los rangos recomendados por el fabricante (0.65-1.06 % del peso del cemento), y además, se tomaron en cuenta las recomendaciones de la analista de calidad, Según (Melorose et al., 2015) "se deben utilizar los parámetros más exigentes para determinar la dosificación de la mezcla. La dosificación se puede basar en la experiencia en obras similares, en mezclas de prueba o en ambas" (p. 26).

Las consideraciones tomadas para las dosificaciones de las mezclas del hormigón premezclado son, mantener un asentamiento de  $18\pm 4$  cm, correcciones de las dosificaciones por humedad de los áridos, antes de realizar las mezclas, variaciones de la relación A/C, las cuales serían ajustadas de acuerdo con los valores retenidos durante las pruebas de laboratorio y variaciones de los porcentajes de aditivo sobre la base de naftalenos.

Se aplicaron valores entre 0.8 a 0.5 % de aditivo dentro de los diseños de mezclas, de acuerdo con la tabla 5.

**Tabla 4**

*Dosificación de mezclas en laboratorio para contenidos de cemento de 250 a 350 kg/m<sup>3</sup> (Lote 1), con aditivo con base en naftalenos.*

| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250    | 275     | 300    | 325     | 350     |
|---|--------|---------|--------|---------|---------|
| Materias Primas (kg)                      | (kg)   | (kg)    | (kg)   | (kg)    | (kg)    |
| Cemento HE                                | 6.25   | 6.88    | 7.50   | 8.13    | 8.75    |
| Agua                                      | 6.33   | 6.50    | 6.57   | 6.66    | 6.65    |
| Arena San Antonio                         | 26.25  | 25.53   | 25.07  | 24.70   | 24.42   |
| Piedra 3/4"                               | 15.25  | 15.06   | 14.79  | 14.51   | 14.13   |
| Aditivo sobre la base de naftalenos       | 0.0500 | 0.04813 | 0.0450 | 0.04468 | 0.04375 |
| A/C                                       | 0.8    | 0.75    | 0.70   | 0.65    | 0.60    |

*Nota.* La tabla 5 muestra, la dosificación de las mezclas con diferentes contenidos de cemento y relación A/C para un volumen de 25 litros. Elaborado por: Los autores.

De acuerdo con los resultados de la tabla 5, de las mezclas del Lote 1, se realiza un ajuste de la relación A/C, para poder el asentamiento predispuesto de 18±4 cm, proporcionando las siguientes dosificaciones ajustadas, tabla 6.

**Tabla 5***Dosificación de mezclas en laboratorio, después del ajuste de A/C con aditivo**sobre la base de naftalenos.*

| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250    | 275     | 300    | 325     | 350     |
|---|--------|---------|--------|---------|---------|
| Materias Primas (kg)                      | (kg)   | (kg)    | (kg)   | (kg)    | (kg)    |
| Cemento                                   | 6.25   | 6.88    | 7.5    | 8.13    | 8.75    |
| Agua                                      | 5.58   | 5.55    | 5.6    | 5.77    | 5.77    |
| Arena San Antonio                         | 27.49  | 27.09   | 26.66  | 26.17   | 25.87   |
| Piedra 3/4"                               | 15.97  | 15.98   | 15.73  | 15.38   | 15.18   |
| Aditivo sobre la base de naftalenos       | 0.0500 | 0.04813 | 0.0450 | 0.04468 | 0.04375 |
| A/C                                       | 0.67   | 0.6     | 0.56   | 0.53    | 0.49    |

*Nota.* La tabla 6 muestra, la dosificación de las mezclas con diferentes contenidos de cemento y relación A/C que fueron ajustados, para un volumen de 25 litros.

Elaborado por: Los autores.

Con las dosificaciones y los resultados con variaciones dentro de los rangos, estos resultados, son aplicables para las mezclas realizadas de forma industrial. Se procede con la toma de asentamiento, el muestreo de 6 cilindros, puesto que su ensayo se realizará de la siguiente forma: 3 cilindros a 7 días y 3 a 28 días siguiendo el proceso establecido de la norma ecuatoriana, adicional a esto, se toman valores de la densidad del hormigón en estado fresco y endurecido, y medidas de los especímenes a 7 y 28 días.

**Figura. 27**

*Asentamiento pruebas de laboratorio.*



*Nota.* La figura 27 muestra la toma de asentamiento de las pruebas de laboratorio.

Elaborado por: Los autores.

**Figura. 28**

*Densidad de hormigón en estado fresco.*



*Nota.* La figura 28 muestra la toma densidad del hormigón en estado fresco, de las pruebas de laboratorio. Elaborado por: Los autores.

## **Figura. 29**

*Toma de cilindros de las pruebas de laboratorio.*



*Nota.* La figura 29 muestra la toma de muestras de hormigón de las pruebas de laboratorio (6 cilindros de dimensiones 100x200 mm). Elaborado por: Los autores.

### **3.2.2 Pruebas de laboratorio con aditivos sobre la base de policarboxilatos.**

Las mezclas de hormigón premezclado sobre la base de policarboxilatos, según la información del fabricante los valores recomendados de dosificación son (0.2-1.0 % de la cantidad de cemento en kg). Se toman consideraciones, proporcionadas por la analista de calidad, con respecto a los valores aplicados de este aditivo en la producción diaria en planta.

Las consideraciones tomadas para las dosificaciones de las mezclas del hormigón premezclado con aditivo con base de policarboxilatos, serán las mismas que se tomaron para el caso del primer aditivo, ya que al ser una comparación, las mezclas deben trabajar en las mismas condiciones y con los mismos parámetros de diseño y de ensayos a los que estarán sometidos.

Se adopto el intervalo de valores entre 0.8 a 0.5 % de aditivo dentro de los diseños de las mezclas de hormigón, bajo las recomendaciones presentes en la ficha técnica del fabricante y del personal del departamento de calidad de la empresa UCEM.

**Tabla 6**

*Porcentaje de aditivo sobre la base de polycarboxilatos.*

| Contenido de cemento (kg) | Aditivo sobre la base de polycarboxilatos (%) |
|---------------------------|---|
| 250                       | 0.80  |
| 275                       | 0.70  |
| 300                       | 0.60  |
| 325                       | 0.55  |
| 350                       | 0.50  |

*Nota.* La tabla 7 muestra, la dosificación del aditivo sobre la base de polycarboxilatos, de acuerdo con el contenido de cemento, bajo las recomendaciones de la ficha técnica del fabricante de aditivos. Elaborado por: Los autores.

Por lo tanto, las dosificaciones de las mezclas según su contenido de cemento son las siguientes:

**Tabla 7**

*Dosificación de mezclas en laboratorio para contenidos de cemento de 250 a 350 kg/m<sup>3</sup> (Lote 1), con aditivo sobre la base de policarboxilatos.*

| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250   | 275     | 300    | 325     | 350     |
|---|-------|---------|--------|---------|---------|
| Materias Primas                           | (kg)  | (kg)    | (kg)   | (kg)    | (kg)    |
| Cemento                                   | 6.25  | 6.88    | 7.50   | 8.13    | 8.75    |
| Agua                                      | 6.33  | 6.50    | 6.57   | 6.66    | 6.65    |
| Arena San Antonio                         | 26.25 | 25.52   | 25.07  | 24.70   | 24.41   |
| Piedra 3/4"                               | 15.25 | 15.06   | 14.79  | 14.51   | 14.32   |
| Aditivo sobre la base de policarboxilatos | 0.050 | 0.04813 | 0.0450 | 0.04468 | 0.04375 |
| A/C                                       | 0.8   | 0.75    | 0.70   | 0.65    | 0.6     |

*Nota.* La tabla 8 muestra, la dosificación de las mezclas con diferentes contenidos de cemento y relación A/C para un volumen de 25 litros. Elaborado por: Los autores.

De acuerdo con los resultados de la tabla 8, de las mezclas del Lote 1, se realiza un ajuste de la relación A/C, para estar tener un asentamiento dentro de 18±4 cm, proporcionando las siguientes dosificaciones, tabla 9.



**Tabla 8**

*Dosificación de mezclas en laboratorio, después del ajuste de A/C con aditivo sobre la base de policarboxilatos.*

| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250   | 275     | 300    | 325     | 350     |
|---|-------|---------|--------|---------|---------|
| Materias Primas (kg)                      | (kg)  | (kg)    | (kg)   | (kg)    | (kg)    |
| Cemento                                   | 6.25  | 6.88    | 7.50   | 8.13    | 8.75    |
| Agua                                      | 5.66  | 5.23    | 5.19   | 5.47    | 5.61    |
| Arena San Antonio                         | 27.68 | 27.60   | 27.34  | 26.66   | 26.13   |
| Piedra 3/4"                               | 16.15 | 16.28   | 16.13  | 15.66   | 15.33   |
| Aditivo sobre la base de policarboxilatos | 0.050 | 0.04813 | 0.0450 | 0.04468 | 0.04375 |
| A/C                                       | 0.62  | 0.55    | 0.50   | 0.49    | 0.47    |

*Nota.* La tabla 9 muestra, la dosificación de las mezclas con diferentes contenidos de cemento y relación A/C, que fueron ajustados para un volumen de 25 litros.

Elaborado por: Los autores.

Con el ajuste que se realiza durante el desarrollo de las pruebas de laboratorio, estas dosificaciones son idóneas, para el ingreso de estas, dentro de la producción diaria en planta, y poder realizar las pruebas industriales.

**Figura. 30**

*Asentamiento pruebas de laboratorio.*



*Nota.* La figura 30 muestra la toma de asentamiento de las pruebas de laboratorio.

Elaborado por: Los autores.

**Figura. 31**

*Densidad de hormigón en estado fresco.*



*Nota.* La figura 31 muestra la toma densidad del hormigón en estado fresco, de las pruebas de laboratorio. Elaborado por: Los autores.

## **Figura. 32**

*Toma de cilindros de las pruebas de laboratorio.*



*Nota.* La figura 32 muestra la toma de muestras de hormigón de las pruebas de laboratorio (6 cilindros de dimensiones 100x200 mm). Elaborado por: Los autores.

### **3.3. Pruebas industriales**

#### **3.3.1 Pruebas industriales con aditivos sobre la base de naftalenos.**

Las dosificaciones, ajustadas serán aplicadas para las pruebas industriales con las mismas consideraciones, aplicadas a las pruebas de laboratorio. Lo esencial en la prueba industrial, es el uso del mixer para la toma de muestras directamente de este, con la dosificación correspondiente, tabla 10.

**Tabla 9**

*Dosificación de mezclas para pruebas industriales con aditivos sobre la base de naftalenos.*

| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250     | 275     | 300     | 325     | 350     |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Materias Primas                           | (kg)    | (kg)    | (kg)    | (kg)    | (kg)    |
| Cemento                                   | 255     | 281     | 306     | 332     | 357     |
| Agua                                      | 261     | 257     | 259     | 262     | 260     |
| Arena San Antonio                         | 1097.43 | 1088.62 | 1071.51 | 1052.36 | 1040.85 |
| Piedra 3/4"                               | 642.67  | 637.51  | 627.50  | 616.28  | 609.54  |
| Aditivo sobre la base de naftalenos       | 2.04    | 1.96    | 1.84    | 1.82    | 1.79    |
| A/C                                       | 0.67    | 0.6     | 0.56    | 0.53    | 0.49    |

*Nota.* La tabla 10 muestra, la dosificación en estado seco de las mezclas con diferentes contenidos de cemento y relación A/C para un volumen de 1000 litros.

Elaborado por: Los autores.

Los valores presentes en la tabla 10, son dispuestos en estado seco, ya que la corrección por humedad la realiza el equipo de calidad, este valor se actualiza en el sistema automatizado de dosificación, el cual proporciona los valores correspondientes de forma automática, con la dosificación de los valores corregidos por humedades de los agregados del stock de UCEM.

Además, los valores de las dosificaciones de la tabla 10, son valores que se trabajan con un 0.02% extra de cantidades de los materiales, debido a pérdidas del hormigón en el mixer y tubería de bomba. Al ser pruebas industriales, se aplican las

mismas consideraciones, que son optadas por el personal calificado de calidad, para un producto que será entregado en obra.

Tal como se tomó el asentamiento y muestreo de cilindros, se lo realizara en las pruebas industriales como se ve en la siguiente figura 30.

**Figura. 33**

*Asentamiento pruebas industriales.*



*Nota.* La figura 33 muestra la toma de asentamiento de las pruebas industriales. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 34**

*Densidad de hormigón en estado fresco.*



*Nota.* La figura 34 muestra la toma densidad del hormigón en estado fresco, de las pruebas industriales. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 35**

*Toma de cilindros de las pruebas industriales.*



*Nota.* La figura 35 muestra la toma de muestras de hormigón de las pruebas industriales (6 cilindros de dimensiones 100x200 mm). Elaborado por: Los autores.

### 3.3.2 Pruebas industriales con aditivos sobre la base de policarboxilatos.

Tal como se procedió en las pruebas industriales con naftalenos, se aplica la misma forma de tomar la muestra y la dosificación de estas. Sabiendo que las humedades serán ingresadas y proporcionarán los valores corregidos por el sistema automatizado de dosificación.

**Tabla 10**

*Dosificación de mezclas para pruebas industriales con aditivos sobre la base de policarboxilatos.*

| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) | 250     | 275     | 300     | 325     | 350     |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Materias Primas                           | (kg)    | (kg)    | (kg)    | (kg)    | (kg)    |
| Cemento                                   | 255     | 281     | 306     | 332     | 357     |
| Agua                                      | 249     | 245     | 243     | 250     | 254     |
| Arena San Antonio                         | 1116.19 | 1109.29 | 1098.66 | 1071.91 | 1051.28 |
| Piedra 3/4"                               | 653.66  | 649.62  | 643.39  | 627.73  | 615.65  |
| Aditivo sobre la base de policarboxilatos | 2.04    | 1.96    | 1.84    | 1.82    | 1.79    |
| A/C                                       | 0.67    | 0.6     | 0.56    | 0.53    | 0.49    |

*Nota.* La tabla 11 muestra, la dosificación en estado seco de las mezclas con diferentes contenidos de cemento y relación A/C para un volumen de 1000 litros.

Elaborado por: Los autores.

Tal como se procedió con las mezclas con aditivo sobre la base de naftalenos, se aplica las mismas condiciones de dosificación, se agrega un 0.02% a todas las cantidades,

debido a pérdidas del hormigón en el mixer o tubería usada en obra, ya que se busca estar lo más cerca a la realidad de la entrega de hormigón premezclado en obra.

Se realizaron, las muestras de los 6 cilindros, toma de asentamiento y densidades en estado fresco y endurecido del hormigón.

**Figura. 36**

*Asentamiento pruebas industriales.*



*Nota.* La figura 36 muestra la toma de asentamiento de las pruebas industriales. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 37**

*Densidad de hormigón en estado fresco.*



*Nota.* La figura 37 muestra la toma densidad del hormigón en estado fresco, de las pruebas industriales. Elaborado por: Los autores.



**Figura. 38**

*Toma de cilindros de las pruebas industriales.*



*Nota.* La figura 38 muestra la toma de muestras de hormigón de las pruebas industriales (6 cilindros de dimensiones 100x200 mm). Elaborado por: Los autores.

Al día siguiente de haber sido tomada la muestra, se procede con el desencofrado, identificación de los cilindros y su almacenamiento en las piscinas de curado del laboratorio como se ve en las figuras 39 y 40.

**Figura. 39**

*Identificación de cilindros.*



*Nota.* La figura 39 muestra la identificación de los cilindros y sus códigos. Elaborado por: Los autores.

## **Figura. 40**

*Almacenamiento de cilindros.*



*Nota.* La figura 40 muestra el almacenamiento de los cilindros de forma ordenada en las piscinas de curado del laboratorio, además se muestran los cilindros que están por ser ensayados al filo de la piscina de curado. Elaborado por: Los autores.

### **3.4. Ensayo de cilindros a la compresión**

#### **3.4.1 Rotura de cilindros a la compresión de las pruebas realizadas.**

Generalmente, “la propiedad mecánica más fácilmente mensurable del hormigón es su resistencia a la compresión, obtenida del ensayo de probetas cilíndricas” (Melorose et al., 2015), este indicador nos evidencia el comportamiento del hormigón frente a este tipo de cargas, y las propiedades de resistencia que le provee el agregado grueso y la trabazón entre la pasta y la piedra usada en el diseño.

Se toman 6 cilindros de cada una de las muestras tanto de laboratorio como industriales, que fueron realizadas, siendo así 3 cilindros ensayados a 7 días y 3 ensayados a 28 días, todo este proceso bajo la normativa NTE INEN 1573. La primera consideración es la calibración de la prensa hidráulica de los cilindros, los neoprenos que serán usados

en el ensayo deben estar en condiciones óptimas para ser usados y los cilindros deben estar identificados con fecha y código proporcionado por el laboratorio.

El siguiente procedimiento es medir las dimensiones de cada uno de los cilindros, tomando tres datos de diámetros y de altura de los especímenes, para poder obtener valores promedio (figura 41). También se debe pesar los cilindros para el cálculo de la densidad del hormigón en estado endurecido (figura 44).

**Figura. 41**

*Divisiones para toma de medidas de los cilindros.*



*Nota.* La figura 41 muestra, las divisiones realizadas, ya que la norma pide 3 medidas equidistantes para poder tomar los datos. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 42**

*Medidas diámetro de los cilindros.*



*Nota.* La figura 42 muestra, el uso del calibrador pie de rey para la toma de medidas de los diámetros de los cilindros. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 43**

*Medidas alturas de los cilindros.*



*Nota.* La figura 43 muestra, el uso del calibrador pie de rey para la toma de medidas de las alturas de los cilindros. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 44**

*Masa de los cilindros.*



*Nota.* La figura 44 muestra, la masa de los cilindros, que debe ser tomada antes de ser ensayados, para el cálculo de la densidad del hormigón en estado endurecido. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 45**

*Identificación de los cilindros.*



*Nota.* La figura 45 muestra la identificación de los cilindros, de acuerdo con la fecha de toma de muestra y el código predispuesto en el laboratorio de calidad de UCEM. Elaborado por: Los autores.



## Figura. 46

Identificación de los cilindros.



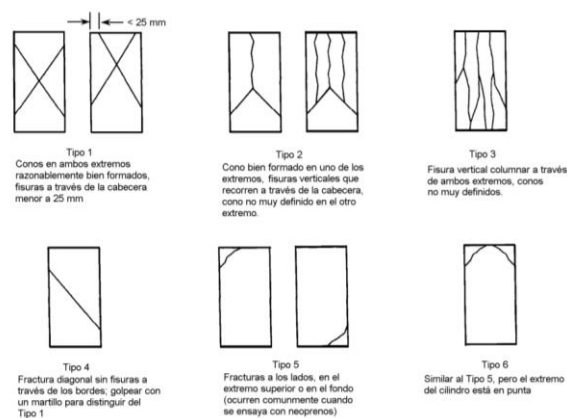
*Nota.* La figura 46 muestra la identificación de los cilindros, de acuerdo con la fecha de toma de muestra y el código predispuesto en el laboratorio de calidad de UCEM.

Elaborado por: Los autores.

La carga de falla de los cilindros está medida KN según la prensa usada durante el ensayo, el tipo de falla será identificado de acuerdo con la figura 47. Además el ensayo se lo hace a "especímenes curados en húmedo, tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo" (INEN-1573, 2010, p.6), esto se lo realiza para que el cilindro esté en condiciones óptimas y adecuadas para su respectivo ensayo.

## Figura. 47

Esquema de los modelos típicos de fractura.



*Nota.* La figura 47 muestra, los esquemas posibles de falla de los cilindros, después del ensayo a la compresión de estos: Fuente: NTE INEN 1573 (2010).

**Figura. 48**

*Ensayo de cilindros en la prensa hidráulica.*



*Nota.* La figura 48 muestra un cilindro ensayado y su falla tipo 2. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 49**

*Ensayo de cilindros en la prensa hidráulica.*



*Nota.* La figura 49 muestra un cilindro ensayado y su falla tipo 5. Elaborado por: Los autores.

### 3.4.2 Registro de los datos de compresión de las pruebas realizadas.

Los registros son tomados, en el formato predispuesto por el laboratorio, donde se muestra el código, el número de días al que van a ser ensayados los cilindros, la carga de falla en (KN) y el tipo de falla que se identifica de cada uno de los cilindros como en la figura 47.

Esta información, con respecto a los diámetros ha sido procesada, en Excel tomando en consideración el factor que será multiplicado por la resistencia a la compresión de los cilindros si la L/D (Largo promedio/Diámetro promedio) menor a 1.75, los resultados de resistencia deben ser corregidos según la siguiente figura 50.

#### **Figura. 50**

*Relación L/D y factor de corrección de resistencia a la compresión.*

|         |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|
| L/D     | 1,75 | 1,50 | 1,25 | 1,00 |
| Factor: | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,87 |

*Nota.* La figura 50 muestra, el factor de corrección de la resistencia a la compresión, en el caso de que L/D sea menor o igual a 1.75. Fuente: NTE INEN 1573 (2010).

Los datos tomados, están sujetos, a varias agentes que pueden afectar su comportamiento, según (Melorose et al., 2015) “la evaluación de los resultados de pruebas de resistencia del hormigón tiene en cuenta que la producción está sometida a variaciones en los componentes, medición, pruebas y resultados de los ensayos” (p .31).



## CAPÍTULO IV

### 4. Análisis de resultados

#### *4.1 Análisis de resultados obtenidos de resistencias a la compresión de especímenes cilíndricos*

##### **4.1.1 Comparativa de resistencias a la compresión de las pruebas de laboratorio de hormigón con naftalenos versus hormigón con policarboxilatos.**

Para hacer la respectiva comparativa de la resistencia a la compresión de todas las pruebas de laboratorio, debemos tener claro que se trabajó primero en una mezcla patrón (mezcla de hormigón sin ningún tipo de adiciones) para ser comparada con los diseños que contengan naftalenos y policarboxilatos.

Como resultado de comparar estos tres tipos de mezclas de hormigón se muestran los siguientes parámetros:

- Tendencia de la resistencia a compresión por contenido de cemento para los tres tipos de mezclas.
- Diferencial de resistencia a compresión por cada 25 kg de cemento en cada diseño.
- Diferencial de resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días para los tres tipos de mezcla.
- Eficiencia del cemento para los tres tipos de mezclas.
- Diferencial de resistencias a compresión a los 28 días para las mezclas con naftalenos y policarboxilatos.

##### ***4.1.1.1 Tendencia de la resistencia a compresión por contenido de cemento para los tres tipos de mezclas.***

El comportamiento de las resistencias a la compresión marca una tendencia normal de crecimiento según el contenido de cemento de cada mezcla, es decir existe una

ganancia de resistencia según se aumenta la cantidad de cemento en cada mezcla, ya que la resistencia a la compresión y el cemento manejan una relación directamente proporcional llamada eficiencia. Sin embargo “se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento, en las cuales se incrementa el contenido de este material a valores superiores a 470 kg/m<sup>3</sup>, se origina una disminución de la resistencia” (Niño, 2010, p.122).

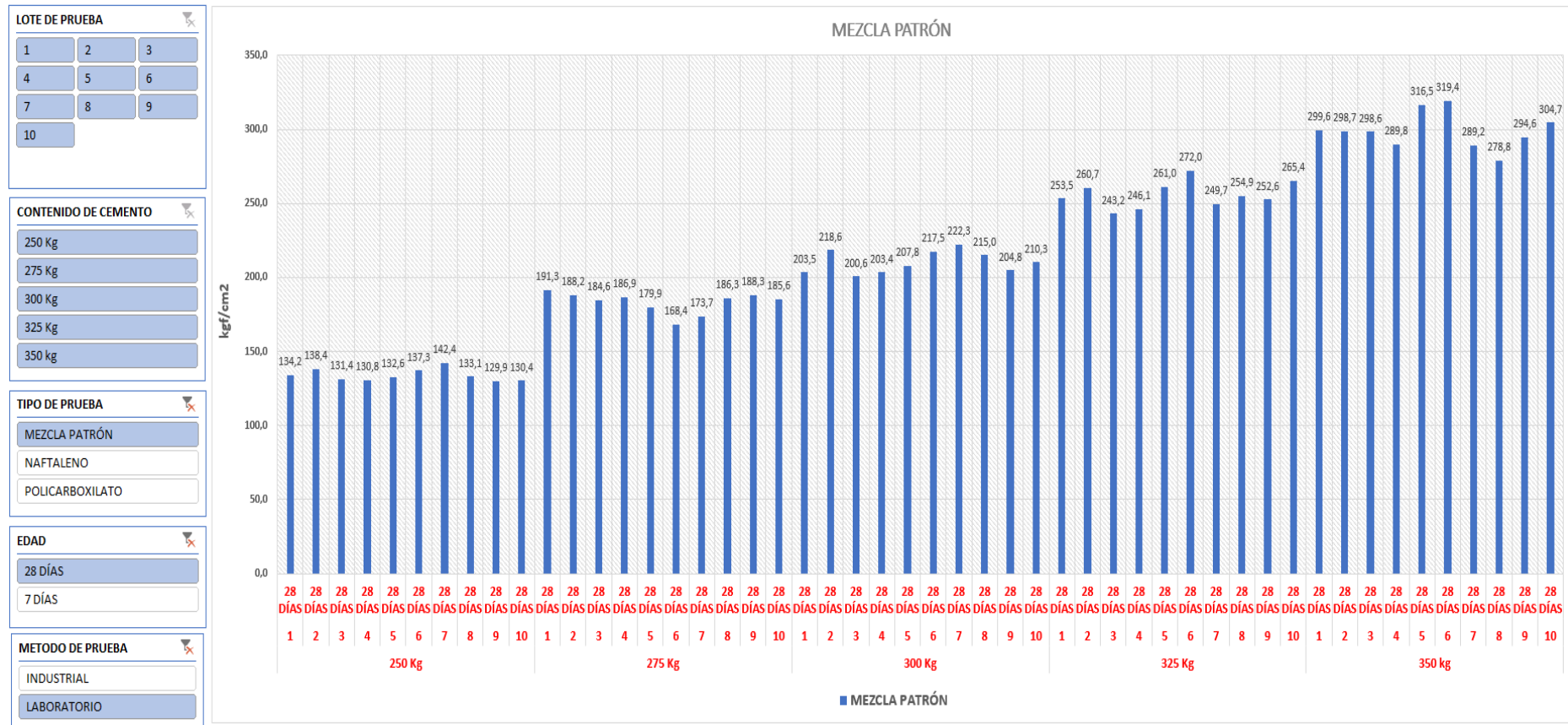
Por esto, los valores del contenido de cemento, que se usan en la investigación están dentro del siguiente intervalo de 250-350 kg/m<sup>3</sup>, incrementado 25 kg/m<sup>3</sup> en cada uno de los diseños patrón, aditivo retardante y aditivo superplastificante, evidenciando los siguientes resultados que se ven en la figura 48, con respecto a la tendencia de la resistencia a la compresión de los especímenes.

Además, dentro de la industria del hormigón el material de mayor costo es el cemento, es decir que es de suma importancia la optimización del mismo en sus diseño proporcionado las mismas o mejores características del producto final al cliente, debido a esto se mide el rendimiento el cual “constituye uno de los mejores indicadores para medir la eficiencia en el uso del cemento tanto de un diseño determinado de mezcla de hormigón, como de todo el sistema de la producción del hormigón” (León et al., 2020).

Por todo el costo y materias primas que conlleva el diseño de una sola mezcla de hormigón premezclado, es importante el análisis de todos los materiales involucrados en su creación, y como estos aportan ciertas características específicas y necesarias para el tipo de obra en la cual se realizara su fundición. Por lo tanto es imprescindible el análisis del hormigón con aditivos, estos diseños proporcionan un mejor rendimiento del producto con una optimización de cemento en las mezclas.

**Figura. 51**

*Tendencia de resistencia a la compresión.*

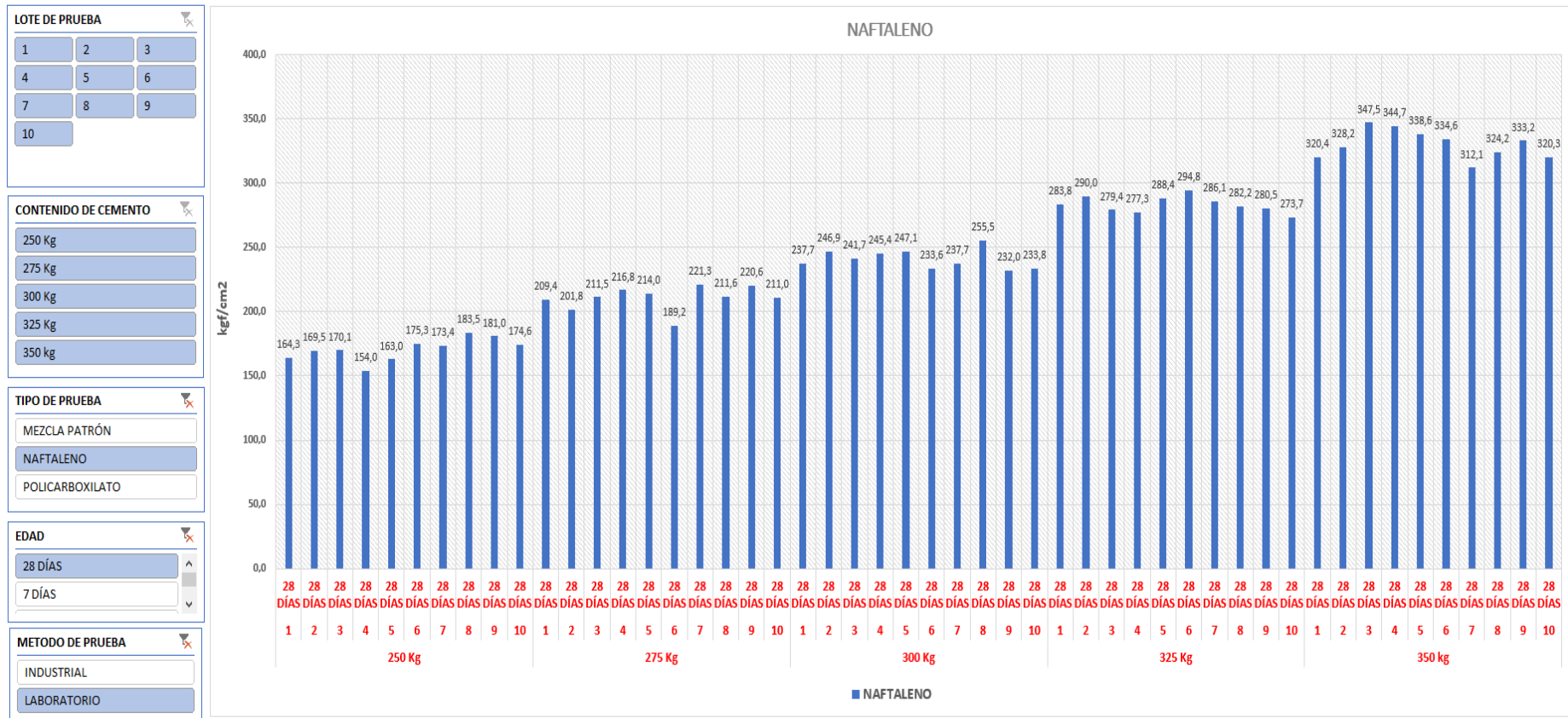


*Nota.* La figura 51 muestra, la tendencia que tiene la resistencia a compresión según aumenta el contenido de cemento en una mezcla patrón.

Elaborado por: Los autores.

**Figura. 52**

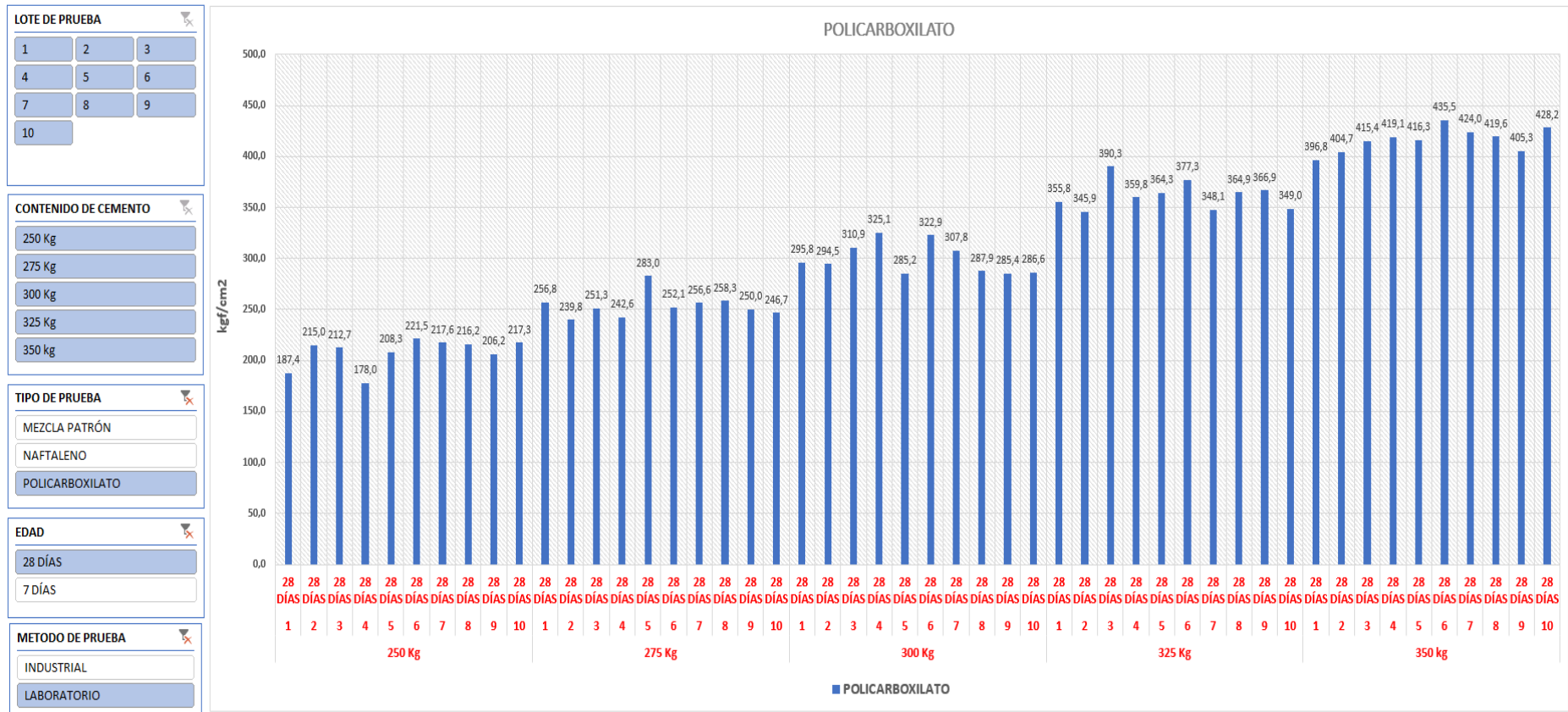
*Tendencia de resistencia a la compresión.*



*Nota.* La figura 52 muestra, la tendencia que tiene la resistencia a compresión según aumenta el contenido de cemento en una con aditivos con base en naftalenos. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 53**

*Tendencia de resistencia a la compresión.*



*Nota.* La figura 53 muestra, la tendencia que tiene la resistencia a compresión según aumenta el contenido de cemento en una con aditivos con base en policarboxilatos. Elaborado por: Los autores.

**4.1.1.2 Diferencial promedio de resistencia a compresión por cada 25 kgf/m<sup>3</sup> de cemento en cada diseño.**

Se puede observar que por cada 25 kgf/m<sup>3</sup> de cemento adicionado en las mezclas, existe un diferencial promedio de resistencia a la compresión, el cual fue calculado con los datos de los 15 lotes tomados, siendo estos de laboratorio o de pruebas industriales. Proporcionando valores con respecto al aumento de la resistencia a la compresión que aumentan según dos condiciones importantes en el análisis, la primera debido al aumento del contenido de cemento; y segundo el uso de aditivos, según se ven los siguientes resultados:

- Mezclas patrón 29.4 kgf/cm<sup>2</sup> a 7 días; 41.2 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días.
- Mezclas con aditivo sobre la base naftalenos 26.2 kgf/cm<sup>2</sup> a 7 días; y 39.9 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días.
- Mezclas con aditivo sobre la base de policarboxilatos 30.4 kgf/cm<sup>2</sup> a 7 días; y 52.1 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días.

**Figura. 54**

*Diferencial de resistencia a compresión pruebas de laboratorio*

|                             | Cemento (kg) | f' c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 7 días | Diferencia (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f' c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 28 días | Diferencia (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| MEZCLA PATRÓN LABORATORIO   | 250          | 99,0                               |                                   | 134,0                               |                                   |
|                             | 275          | 130,5                              | 31,5                              | 183,3                               | 49,3                              |
|                             | 300          | 157,8                              | 27,3                              | 210,4                               | 27,0                              |
|                             | 325          | 191,0                              | 33,1                              | 255,9                               | 45,5                              |
|                             | 350          | 216,5                              | 25,5                              | 299,0                               | 43,1                              |
|                             |              | <b>Promedio</b>                    |                                   | <b>29,4</b>                         | <b>Promedio</b>                   |
| NAFTALENO LABORATORIO       | 250          | 130,6                              |                                   | 170,9                               |                                   |
|                             | 275          | 163,8                              | 33,2                              | 210,7                               | 39,9                              |
|                             | 300          | 181,9                              | 18,0                              | 241,1                               | 30,4                              |
|                             | 325          | 209,4                              | 27,6                              | 283,6                               | 42,5                              |
|                             | 350          | 235,5                              | 26,1                              | 330,4                               | 46,8                              |
|                             |              | <b>Promedio</b>                    |                                   | <b>26,2</b>                         | <b>Promedio</b>                   |
| POLICARBOXILATO LABORATORIO | 250          | 157,2                              |                                   | 208,0                               |                                   |
|                             | 275          | 195,7                              | 38,5                              | 253,7                               | 45,7                              |
|                             | 300          | 233,7                              | 38,0                              | 300,2                               | 46,5                              |
|                             | 325          | 253,8                              | 20,1                              | 362,2                               | 62,1                              |
|                             | 350          | 278,9                              | 25,0                              | 416,5                               | 54,2                              |
|                             |              | <b>Promedio</b>                    |                                   | <b>30,4</b>                         | <b>Promedio</b>                   |

*Nota.* La figura 54 muestra, la diferencia que existe en cada una de las mezclas y sus diferentes contenidos de cemento. Elaborado por: Los autores.

#### 4.1.1.3 Diferencial de resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días para los tres tipos de mezcla.

Es importante hacer una evaluación de las mezclas de hormigón según su edad, para nuestro caso tenemos 7 y 28 días, siendo 28 días la edad a la que el hormigón llega al 100% de su resistencia de diseño. En nuestro caso como se trabaja con contenido de cemento se ha calculado el porcentaje (%) de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días versus su resistencia a la compresión obtenida a los 7 días.

La resistencia a la compresión es un parámetro que evidencia el comportamiento variable del hormigón con respecto al tiempo, es decir, que dicho parámetro aumenta en función al tiempo bajo las condiciones de curado y de temperatura según normativa. De acuerdo con la NTE INEN 1855-2 en condiciones de obra tipo A y B la resistencia a la compresión a los 7 días es del 75 %.

**Figura. 55**

*Requisitos para uniformidad del hormigón. Para las condiciones A y B.*

| Ensayo  | Requisitos, expresado como la máxima diferencia permitida en resultados de ensayos de muestras tomadas en dos sitios en una bachada de hormigón |
|---|---|
| - Masa por m <sup>3</sup> , calculada en base a la condición libre de aire, en kg/m <sup>3</sup>  | 16  |
| - Contenido de aire, volumen en % del hormigón  | 1,0   |
| - Asentamiento en mm:   |   |
| Si el asentamiento promedio es 100 mm, o menos  | 25  |
| Si el asentamiento promedio está entre 100 mm y 150 mm  | 40  |
| - Contenido de árido grueso porción en masa de cada muestra retenida en el tamiz N.4 (4.75 mm) %  | 6,0   |
| - Masa unitaria de mortero sin aire <sup>(a)</sup> , basada en el promedio de todas las muestras comparables ensayadas %  | 1,6   |
| - Resistencia a la compresión promedio a los 7 días, para cada muestra <sup>(b)</sup> , basada en la resistencia promedio de todos los especímenes comparables ensayados, % | 7,5 <sup>(c)</sup>  |

*Nota. La figura 55 muestra, las condiciones de los dos tipos de obras A y B, de acuerdo con esto dispone de varios valores referenciales. Fuente: NTE INEN 1855-2 (2015).*

Adicional a esto la normativa EHE, proporciona valores referenciales, según el número de días del espécimen a ser ensayado, proporcionando un valor de 65 % de resistencia a la compresión de los especímenes a los 7 días de ensayo.

**Figura. 56**

*Resistencia a la compresión sobre probetas del mismo tipo.*

| Edad del hormigón, en días          | 3    | 7    | 28   | 90   | 360  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Hormigones de endurecimiento normal | 0,40 | 0,65 | 1,00 | 1,20 | 1,35 |
| Hormigones de endurecimiento rápido | 0,55 | 0,75 | 1,00 | 1,15 | 1,20 |

*Nota.* La figura 56 se muestra, el % de resistencia estimado de los cilindros ensayados según el tiempo transcurrido. Fuente: EHE (2008).

**Figura. 57**

*Ganancia de resistencia a la compresión*

|                                    | Cemento (kg) | f'c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 7 días | f'c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 28 días | Resistencia a los 7 días (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| <b>MEZCLA PATRÓN LABORATORIO</b>   | 250          | 99,0                              | 134,0                              | 74%   |
|                                    | 275          | 130,5                             | 183,3                              | 71%   |
|                                    | 300          | 157,8                             | 210,4                              | 75%   |
|                                    | 325          | 191,0                             | 255,9                              | 75%   |
|                                    | 350          | 216,5                             | 299,0                              | 72%   |
|                                    |              | <b>Promedio</b>                   | <b>Promedio</b>                    | <b>73%</b>                                      |
| <b>NAFTALENO LABORATORIO</b>       | 250          | 130,6                             | 170,9                              | 76%   |
|                                    | 275          | 163,8                             | 210,7                              | 78%   |
|                                    | 300          | 181,9                             | 241,1                              | 75%   |
|                                    | 325          | 209,4                             | 283,6                              | 74%   |
|                                    | 350          | 235,5                             | 330,4                              | 71%   |
|                                    |              | <b>Promedio</b>                   | <b>Promedio</b>                    | <b>75%</b>                                      |
| <b>POLICARBOXILATO LABORATORIO</b> | 250          | 157,2                             | 208,0                              | 76%   |
|                                    | 275          | 195,7                             | 253,7                              | 77%   |
|                                    | 300          | 233,7                             | 300,2                              | 78%   |
|                                    | 325          | 253,8                             | 362,2                              | 70%   |
|                                    | 350          | 278,9                             | 416,5                              | 67%   |
|                                    |              | <b>Promedio</b>                   | <b>Promedio</b>                    | <b>73%</b>                                      |

*Nota.* La figura 57 muestra, la ganancia de resistencia a la compresión de todas las mezclas entre 7 y 28 días de edad. Elaborado por: Los autores.

Al comparar los porcentajes (%) de resistencia a la compresión de las probetas a los 7 días de ensayo de la figura 57, con los parámetros de % de resistencia de las normas



NTE INEN 1855-2 y EHE; se ratifica un comportamiento típico de las mezclas de hormigón en estado endurecido, siendo esto un indicador positivo del desempeño de los especímenes en función del tiempo.

#### ***4.1.1.4 Eficiencia del cemento para los tres tipos de mezclas.***

La eficiencia del cemento dentro de una mezcla de hormigón es evaluada a los 28 días de edad de las probetas y consiste en verificar la relación que existe entre el valor de resistencia a compresión y el contenido de cemento que contengan las mezclas de hormigón. Los resultados, mientras más se acerquen al valor de uno (1), quiere decir que el cemento está cumpliendo un papel eficiente dentro de la mezcla de hormigón.

Este parámetro muestra como por cada 1  $kgf/m^3$  existente en el diseño de la mezcla, este le proporciona 1  $kgf/cm^2$  de resistencia al hormigón en estado endurecido en condiciones ideales, los valores más comunes de eficiencia son de 0.8-1.2, siendo estos referenciales. Además es de suma importancia para la industria del hormigón premezclado el cálculo de este valor ya que muestran el consumo del cemento dentro del proceso productivo, y ayuda con la optimización de esta materia prima y menor costo de producción del hormigón premezclado.

Según los resultados de la figura 58, se extraen valores que están dentro del intervalo de eficiencia común de las mezclas, el cual se lo mide cuando el espécimen es ensayado a 28 días, donde el valor de la resistencia a la compresión llega a su 100%. La eficiencia del cemento es variable de acuerdo con el tipo de agregado usado, el tipo de curado, la temperatura de curado, las condiciones de toma de muestras, si contiene su diseño aditivo, entre otras.

Los valores de eficiencia según el tipo de mezcla son los siguientes:

- Mezcla patrón: 0.54 - 0.85
- Mezcla con aditivo con base en naftalenos: 0.68 - 0.94

- Mezcla con aditivo con base en policarboxilatos: 0.83 - 1.19

**Figura. 58**

*Eficiencia del cemento de las pruebas de laboratorio*

|                                    | Cemento (kg) | f' c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 28 días | Eficiencia del cemento |
|------------------------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------|
| <b>MEZCLA PATRÓN LABORATORIO</b>   | 250          | 134,0                               | 0,54                   |
|                                    | 275          | 183,3                               | 0,67                   |
|                                    | 300          | 210,4                               | 0,70                   |
|                                    | 325          | 255,9                               | 0,79                   |
|                                    | 350          | 299,0                               | 0,85                   |
|                                    |              | <b>Promedio</b>                     |                        |
| <b>NAFTALENO LABORATORIO</b>       | 250          | 170,9                               | 0,68                   |
|                                    | 275          | 210,7                               | 0,77                   |
|                                    | 300          | 241,1                               | 0,80                   |
|                                    | 325          | 283,6                               | 0,87                   |
|                                    | 350          | 330,4                               | 0,94                   |
|                                    |              | <b>Promedio</b>                     |                        |
| <b>POLICARBOXILATO LABORATORIO</b> | 250          | 208,0                               | 0,83                   |
|                                    | 275          | 253,7                               | 0,92                   |
|                                    | 300          | 300,2                               | 1,00                   |
|                                    | 325          | 362,2                               | 1,11                   |
|                                    | 350          | 416,5                               | 1,19                   |
|                                    |              | <b>Promedio</b>                     |                        |

*Nota.* La figura 58 muestra, la eficiencia del cemento que tiene una mezcla relacionada con su resistencia a compresión. Elaborado por: Los autores.

#### ***4.1.1.5 Diferencial de resistencias a compresión a los 28 días para las mezclas con naftalenos y policarboxilatos.***

La diferencia obtenida al ensayar a la compresión las probetas de mezclas que tienen aditivo con base en naftalenos y las probetas de mezclas que tiene aditivos con base en policarboxilatos se detalla en la siguiente tabla 12.

**Tabla 11***Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de pruebas de laboratorio*

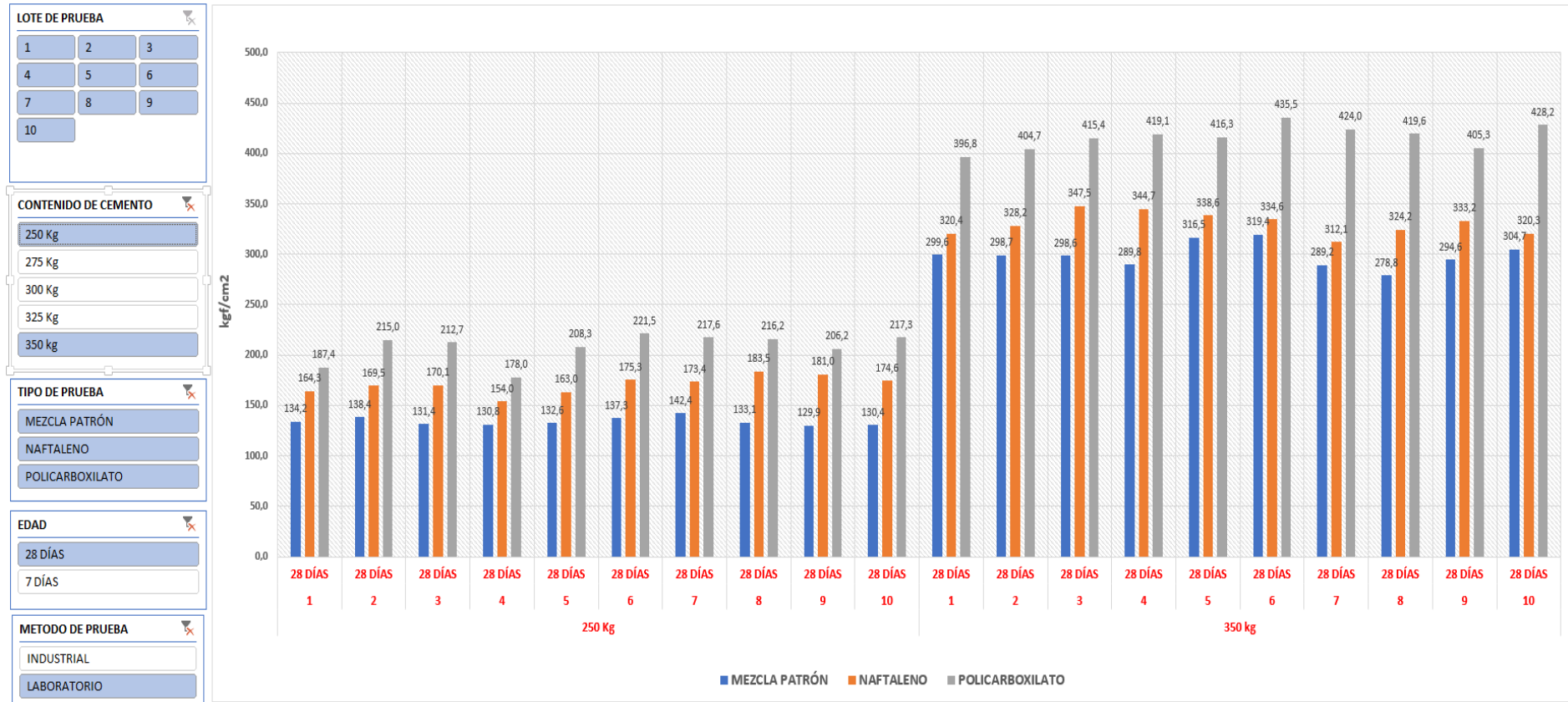
| Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )   | 250   | 275   | 300   | 325   | 350   |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mezclas Patrón (kgf/cm <sup>2</sup> )   | 134.0 | 183.3 | 210.4 | 256.9 | 299.0 |
| Mezclas con Naftalenos (kgf/cm <sup>2</sup> )   | 171.9 | 210.7 | 241.1 | 283.6 | 330.4 |
| Mezclas con Policarboxilatos (kgf/cm <sup>2</sup> )   | 208.0 | 253.7 | 300.2 | 362.2 | 417.5 |
| Diferencial de resistencia a la compresión entre Naftalenos y Policarboxilatos (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 37.14 | 42.97 | 59.05 | 78.63 | 86.11 |

*Nota.* La tabla 12 muestra, la diferencia de resistencia a la compresión de mezclas con naftalenos y mezclas con policarboxilatos. Elaborado por: Los autores.

Esta diferencia también se puede representar como histograma para un análisis visual de las resistencias obtenidas en las diferentes mezclas (patrón, naftalenos y policarboxilatos)

**Figura. 59**

*Resistencia a compresión de probetas cilíndricas*



*Nota.* La figura 59 muestra la diferencia de resistencias a compresión que existe entre mezclas con naftalenos y policarboxilatos. Elaborado por:

Los autores.

#### **4.1.2 Comparativa de resistencias a la compresión de las pruebas industriales de hormigón con naftalenos versus hormigón con policarboxilatos.**

Para hacer la respectiva comparativa de la resistencia a la compresión de todas las pruebas industriales, se seguirá los mismos puntos analizados para las pruebas de laboratorio:

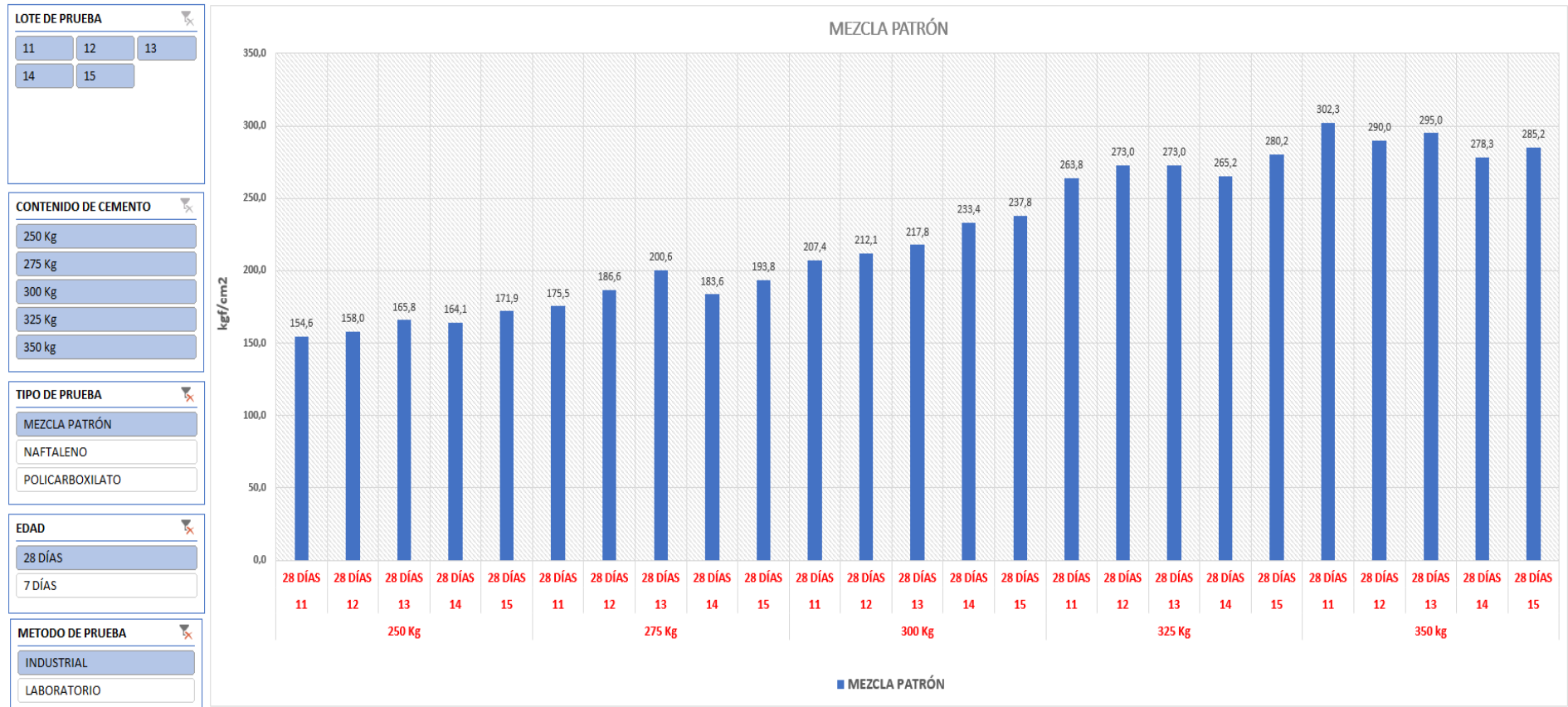
- Tendencia de la resistencia a compresión por contenido de cemento para los tres tipos de mezclas.
- Diferencial de resistencia a compresión por cada 25 kg de cemento en cada diseño.
- Diferencial de resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días para los tres tipos de mezcla.
- Eficiencia del cemento para los tres tipos de mezclas.
- Diferencial de resistencias a compresión a los 28 días para las mezclas con naftalenos y policarboxilatos.

##### ***4.1.2.1 Tendencia de la resistencia a compresión por contenido de cemento para los tres tipos de mezclas.***

El comportamiento de las resistencias a la compresión marca una tendencia normal de crecimiento según el contenido de cemento de cada mezcla consiste a las pruebas de laboratorio.

**Figura. 60**

*Tendencia de resistencia a la compresión.*

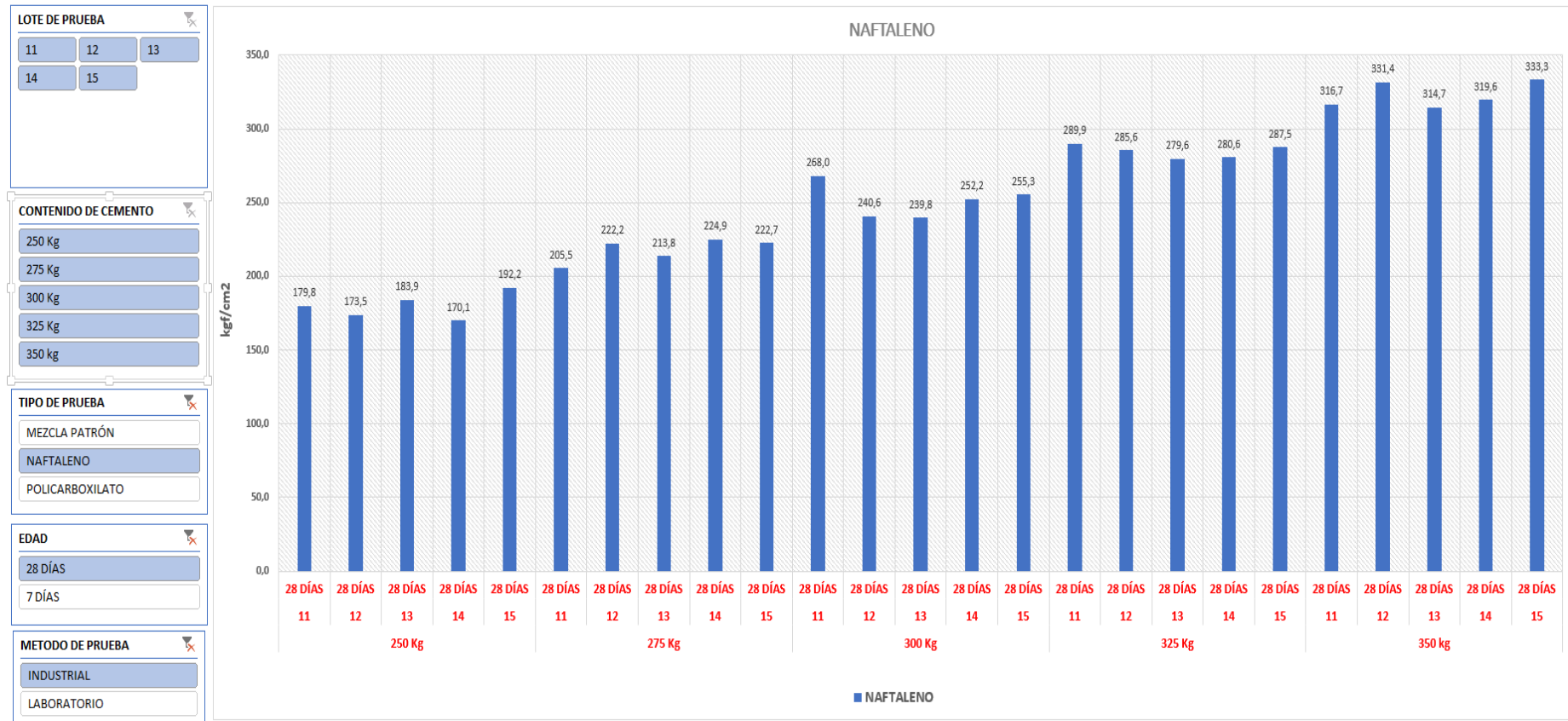


*Nota.* La figura 60 muestra, la tendencia que tiene la resistencia a compresión según aumenta el contenido de cemento en una mezcla patrón.

Elaborado por: Los autores.

**Figura. 61**

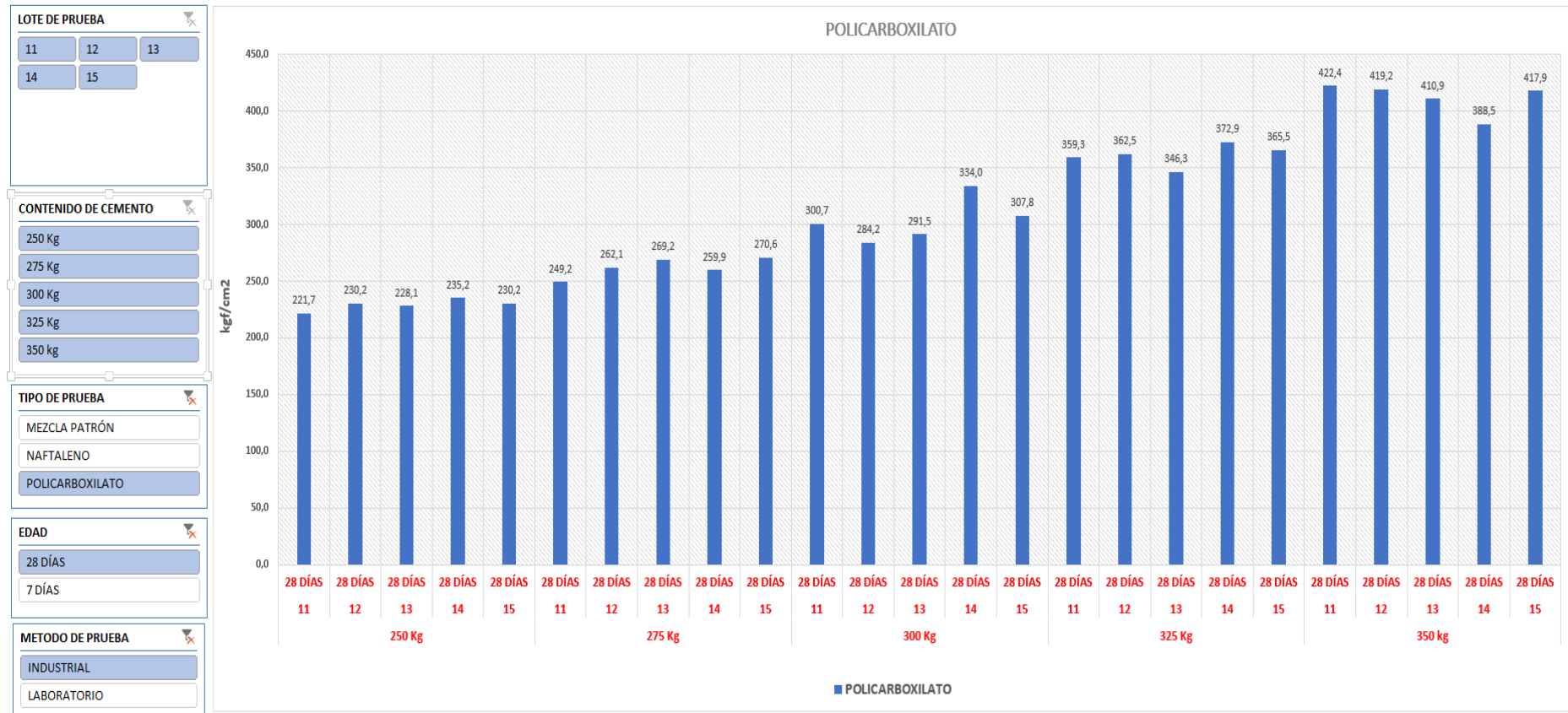
*Tendencia de resistencia a la compresión.*



*Nota.* La figura 61 muestra, la tendencia que tiene la resistencia a compresión según aumenta el contenido de cemento en una con aditivos con base en naftalenos. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 62**

*Tendencia de resistencia a la compresión.*



*Nota.* La figura 62 muestra, la tendencia que tiene la resistencia a compresión según aumenta el contenido de cemento en una con aditivos con base en polycarboxilatos. Elaborado por: Los autores.



#### 4.1.2.2 Diferencial de resistencia a compresión por cada 25 kg de cemento en cada diseño.

Se puede observar que por cada 25 kg de cemento en las mezclas industriales existe una diferencia aumenta según el caso:

- Para mezclas patrón 26.0 kgf/cm<sup>2</sup> a 7 días; 31.8 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días.
- Para mezclas con aditivos con base en naftalenos 26.6 kgf/cm<sup>2</sup> a 7 días; y 35.8 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días.
- Para mezclas con aditivos con base en policarboxilatos 23.7 kgf/cm<sup>2</sup> a 7 días; y 45.7 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días.

**Figura. 63**

*Diferencial de resistencia a compresión*

|                                   | Cemento (kg) | f' c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 7 días | Diferencia (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f' c (kgf/cm <sup>2</sup> ) 28 días | Diferencia (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL</b>   | 250          | 117,7                              |                                   | 162,9                               |                                   |
|                                   | 275          | 138,5                              | 20,8                              | 188,0                               | 25,1                              |
|                                   | 300          | 177,3                              | 38,8                              | 221,7                               | 33,7                              |
|                                   | 325          | 210,2                              | 32,8                              | 271,0                               | 49,3                              |
|                                   | 350          | 223,9                              | 13,7                              | 290,2                               | 19,1                              |
|                                   |              |                                    |                                   | 26,5                                |                                   |
| <b>NAFTALENO INDUSTRIAL</b>       | 250          | 134,4                              |                                   | 179,9                               |                                   |
|                                   | 275          | 164,5                              | 30,1                              | 217,8                               | 37,9                              |
|                                   | 300          | 196,7                              | 32,2                              | 251,2                               | 33,4                              |
|                                   | 325          | 218,2                              | 21,4                              | 284,6                               | 33,5                              |
|                                   | 350          | 241,0                              | 22,8                              | 323,2                               | 38,5                              |
|                                   |              |                                    |                                   | 26,6                                |                                   |
| <b>POLICARBOXILATO INDUSTRIAL</b> | 250          | 181,5                              |                                   | 229,1                               |                                   |
|                                   | 275          | 202,7                              | 21,1                              | 262,2                               | 33,1                              |
|                                   | 300          | 230,9                              | 28,2                              | 303,6                               | 41,4                              |
|                                   | 325          | 253,5                              | 22,6                              | 361,3                               | 57,7                              |
|                                   | 350          | 276,2                              | 22,7                              | 411,8                               | 50,5                              |
|                                   |              |                                    |                                   | 23,7                                |                                   |

*Nota.* La figura 63 muestra, la diferencia que existe en cada una de las mezclas y sus diferentes contenidos de cemento. Elaborado por: Los autores.

**4.1.2.3 Diferencial de resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días para los tres tipos de mezcla.**

Al igual que las pruebas de laboratorio, para las pruebas industriales se hizo una evaluación de las mezclas de hormigón según su edad, para nuestro caso tenemos 7 y 28 días, siendo 28 días la edad a la que el hormigón llega al 100% de su resistencia de diseño. En nuestro caso como se trabaja con contenido de cemento se ha calculado el porcentaje (%) de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días versus su resistencia a la compresión obtenida a los 7 días.

**Figura. 64**

*Ganancia de resistencia a la compresión*

|                                   | <b>Cemento (kg)</b> | <b>f'c (kgf/cm2) 7 días</b> | <b>f'c (kgf/cm2) 28 días</b> | <b>Resistencia a los 7 días</b> |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <b>MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL</b>   | 250                 | 117,7                       | 162,9                        | 72%                             |
|                                   | 275                 | 138,5                       | 188,0                        | 74%                             |
|                                   | 300                 | 177,3                       | 221,7                        | 80%                             |
|                                   | 325                 | 210,2                       | 271,0                        | 78%                             |
|                                   | 350                 | 223,9                       | 290,2                        | 77%                             |
|                                   |                     |                             |                              | 77%                             |
| <b>NAFTALENO INDUSTRIAL</b>       | 250                 | 134,4                       | 179,9                        | 75%                             |
|                                   | 275                 | 164,5                       | 217,8                        | 76%                             |
|                                   | 300                 | 196,7                       | 251,2                        | 78%                             |
|                                   | 325                 | 218,2                       | 284,6                        | 77%                             |
|                                   | 350                 | 241,0                       | 323,2                        | 75%                             |
|                                   |                     |                             |                              | 76%                             |
| <b>POLICARBOXILATO INDUSTRIAL</b> | 250                 | 181,5                       | 229,1                        | 79%                             |
|                                   | 275                 | 202,7                       | 262,2                        | 77%                             |
|                                   | 300                 | 230,9                       | 303,6                        | 76%                             |
|                                   | 325                 | 253,5                       | 361,3                        | 70%                             |
|                                   | 350                 | 276,2                       | 411,8                        | 67%                             |
|                                   |                     |                             |                              | 73%                             |

*Nota.* La figura 64 muestra, la ganancia de resistencia a la compresión de todas las mezclas entre 7 y 28 días de edad. Elaborado por: Los autores.

#### 4.1.2.4 Eficiencia del cemento para los tres tipos de mezclas.

La eficiencia del cemento dentro de una mezcla de hormigón es evaluada a los 28 días de edad de las probetas y consiste en verificar la relación que existe entre el valor de resistencia a compresión y el contenido de cemento que contengan las mezclas de hormigón. Son valores que mientras más se acercan al valor de uno (1) quiere decir que el cemento está cumpliendo un papel eficiente dentro de la mezcla de hormigón.

**Figura. 65**

*Eficiencia del cemento*

|                                       | <b>Cemento<br/>(kg)</b> | <b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)<br/>28 días</b> | <b>Eficiencia<br/>del</b> |
|---------------------------------------|-------------------------|---|---------------------------|
| <b>MEZCLA PATRÓN<br/>INDUSTRIAL</b>   | 250                     | 162,9                                       | 0,65                      |
|                                       | 275                     | 188,0                                       | 0,68                      |
|                                       | 300                     | 221,7                                       | 0,74                      |
|                                       | 325                     | 271,0                                       | 0,83                      |
|                                       | 350                     | 290,2                                       | 0,83                      |
| <b>NAFTALENO<br/>INDUSTRIAL</b>       | 250                     | 179,9                                       | 0,72                      |
|                                       | 275                     | 217,8                                       | 0,79                      |
|                                       | 300                     | 251,2                                       | 0,84                      |
|                                       | 325                     | 284,6                                       | 0,88                      |
|                                       | 350                     | 323,2                                       | 0,92                      |
| <b>POLICARBOXILATO<br/>INDUSTRIAL</b> | 250                     | 229,1                                       | 0,92                      |
|                                       | 275                     | 262,2                                       | 0,95                      |
|                                       | 300                     | 303,6                                       | 1,01                      |
|                                       | 325                     | 361,3                                       | 1,11                      |
|                                       | 350                     | 411,8                                       | 1,18                      |

*Nota.* La figura 65 muestra, la eficiencia del cemento que tiene una mezcla relacionada con su resistencia a compresión. Elaborado por: Los autores.

#### ***4.1.2.5 Diferencial de resistencias a compresión a los 28 días para las mezclas con naftalenos y policarboxilatos.***

La diferencia obtenida al ensayar a la compresión las probetas de mezclas industriales que tienen aditivo con base en naftalenos y las probetas de mezclas que tiene aditivos con base en policarboxilatos se detalla en la siguiente tabla 13.

**Tabla 12**

*Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de pruebas industriales*

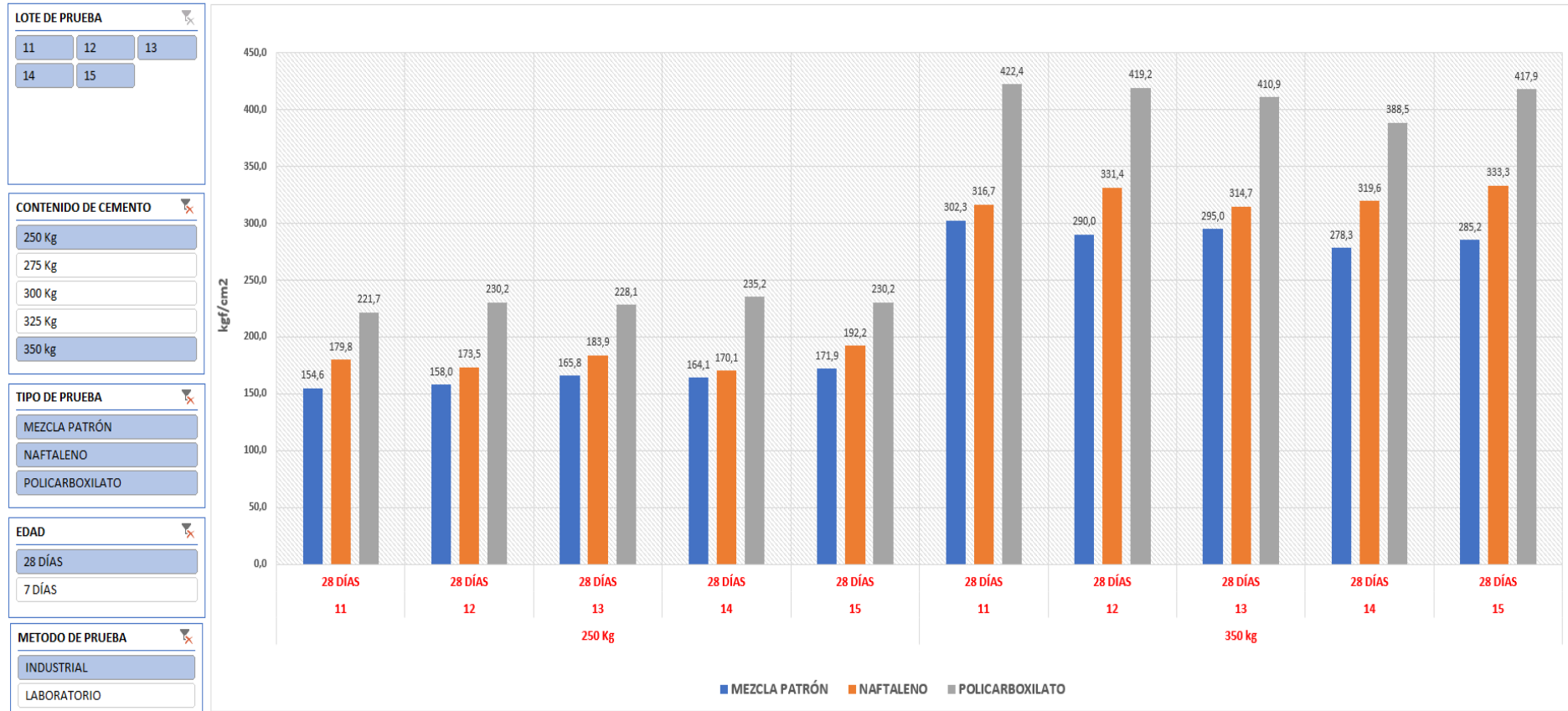
| <b>Contenido de cemento (kg/m<sup>3</sup>)</b>                         | <b>250</b> | <b>275</b> | <b>300</b> | <b>325</b> | <b>350</b> |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Mezclas Patrón (kgf/cm <sup>2</sup> )                                  | 162.9      | 188.0      | 221.7      | 271.0      | 290.2      |
| Mezclas con Naftalenos (kgf/cm <sup>2</sup> )                          | 179.9      | 217.8      | 251.2      | 284.6      | 323.2      |
| Mezclas con Policarboxilatos (kgf/cm <sup>2</sup> )                    | 229.1      | 262.2      | 303.6      | 361.3      | 411.8      |
| Diferencial entre Naftalenos y Policarboxilatos (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 49.18      | 44.42      | 52.45      | 76.65      | 88.63      |

*Nota.* La tabla 13 muestra, la diferencia de resistencia a la compresión de mezclas con naftalenos y mezclas con policarboxilatos. Elaborado por: Los autores.

Esta diferencia también se puede representar como histograma para un análisis visual de las resistencias obtenidas en las diferentes mezclas (patrón, naftalenos y policarboxilatos)

**Figura. 66**

*Resistencia a compresión de probetas cilíndricas*



*Nota.* La figura 66 muestra la diferencia de resistencias a compresión que existe entre mezclas con naftalenos y policarboxilatos. Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.3. Análisis estadístico.**

El análisis estadístico se lo realizó de acuerdo con Guía para la evaluación de resultados de las pruebas de resistencia del hormigón de la ACI 214R, la cual establece como parámetros de análisis la desviación estándar, media aritmética de las resistencias a la compresión, coeficiente de variación y criterios de aceptación.

El análisis estadístico recomienda tener un número de 30 lotes (juego de cilindros). Sin embargo el ACI 318 recomienda el número mínimo de 15 lotes para la recolección de la información de los ensayos. Una consideración importante con respecto al juego de cilindros, el cual según las dimensiones del molde usado durante el muestreo definen el número de cilindros que deben ser tomados, siendo en este caso de 100 x 200 mm, se recomienda la toma 3 cilindros para la misma edad y del mismo lote que serán ensayados a 7-28 días respectivamente (ACI, 2011).

En este punto la investigación desconoce que distribución probable va a tener la resistencia a compresión de cada uno de los resultados obtenidos, porque está basada en diferentes contenidos de cemento por metro cúbico de hormigón y no en una resistencia a la compresión preestablecida; sin embargo, partimos de la hipótesis que tiene una distribución normal.

Adicionalmente los datos obtenidos son comparados con los valores que se deberían obtener por medio de la Ley de Abrams para determinar una resistencia por medio de su relación agua cemento (A/C); cabe indicar que todos los datos están sobre el mínimo requerido por lo tanto no han sido descartados ninguno. También, al partir de una hipótesis de distribución normal no es adecuado descartar valor alguno que esté por debajo de un supuesto valor referencial. A continuación se presenta una figura con detalle de los datos antes mencionados correspondientes a las pruebas Patrón por ser el escenario más desfavorable.

**Figura. 67**

*Resistencias probables obtenidas por relación agua cemento (A/C)*

|        |     | A/C  | Resistencia (Mpa) |      |
|--------|-----|------|-------------------|------|
|        |     |      | Ley de Abrams     | Real |
| PATRON | 250 | 0,79 | 12,4              | 13,1 |
|        | 275 | 0,75 | 14,0              | 18,0 |
|        | 300 | 0,68 | 17,8              | 20,6 |
|        | 325 | 0,60 | 21,0              | 25,1 |
|        | 350 | 0,51 | 29,8              | 29,3 |

*Nota.* La figura 67 muestra las posibles resistencias a la compresión que se podría obtener partiendo de la relación agua cemento(A/C) Vs las resistencias a la compresión obtenidas de las pruebas Patrón. Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.3.1 Desviación estándar.**

El parámetro de la desviación estándar, se lo aplica dentro del estudio para determinar la “dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor o igual que cero” (Lopez, 2017). Se la calcula con la siguiente ecuación, cuando el número de lotes u observaciones no sea mayor que 30.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$\sigma$  = Desviación estandar

$x$  = Cierta valor de un numero de datos

$\bar{x}$  = Promedio de los valores

$n$  = numero de observaciones

Por lo tanto la desviación estándar representa la dispersión de los datos de la resistencia a la compresión con respecto al valor promedio del grupo de datos recolectados después de haber sido ensayadas las probetas tanto a 7 como a 28 días.

Adicional a esto, la desviación estándar se debe calcular de forma general ( $\sigma_2$ ) para los 15 lotes como dentro de cada uno de los lotes ( $\sigma_1$ ).

El cálculo de  $\sigma_1$ , se lo realiza con la siguiente ecuación.

$$\sigma_1 = \frac{\bar{R}}{D_2}$$

Donde:

$\sigma_1$  = Desviación estandar dentro del lote

$\bar{R}$  = Intervalo promedio entre el mayor valor y menor valor del mismo juego de cilindros

$D_2$  = Factor de calculo que depende del numero de especimenes del juego de cilindros

**Figura. 68**

Factores para el cálculo de la desviación estándar dentro del lote a partir del intervalo de ensayos con el uso de dos, tres o cuatro especímenes.

| No. de especímenes | $D_2$ |
|--------------------|-------|
| 2                  | 1.128 |
| 3                  | 1,693 |
| 4                  | 2.059 |

*Nota.* La figura 68 se muestra, valores de  $D_2$ , los cuales dependen del número de especímenes muestreados, en este caso fueron 3. Fuente: ACI 214-R11 (2011).



**Figura. 69***Desviación estándar por lote*

| PATRON | Desviacion estandar ( $\delta 1$ )       |      |      |      |      |
|--------|--|------|------|------|------|
|        | Contenido de cemento ( $\text{kg/m}^3$ ) |      |      |      |      |
| # Lote | 250                                      | 275  | 300  | 325  | 350  |
| 1      | 3,8                                      | 6,5  | 7,4  | 6,3  | 9,5  |
| 2      | 4,0                                      | 8,2  | 9,5  | 0,9  | 5,8  |
| 3      | 6,7                                      | 5,0  | 24,3 | 12,6 | 3,1  |
| 4      | 4,4                                      | 12,2 | 6,9  | 4,0  | 2,5  |
| 5      | 14,0                                     | 3,6  | 5,1  | 10,4 | 3,1  |
| 6      | 8,2                                      | 5,6  | 4,7  | 15,4 | 6,5  |
| 7      | 7,8                                      | 4,9  | 1,2  | 1,6  | 9,4  |
| 8      | 8,0                                      | 15,4 | 11,5 | 7,6  | 13,2 |
| 9      | 2,0                                      | 4,2  | 4,7  | 31,5 | 22,8 |
| 10     | 5,1                                      | 8,3  | 3,1  | 9,5  | 11,0 |
| 11     | 2,7                                      | 12,0 | 15,0 | 6,4  | 8,5  |
| 12     | 5,2                                      | 7,5  | 16,6 | 9,2  | 7,7  |
| 13     | 2,7                                      | 4,7  | 11,5 | 3,1  | 0,8  |
| 14     | 9,7                                      | 5,7  | 8,8  | 4,4  | 5,2  |
| 15     | 11,9                                     | 4,8  | 3,3  | 7,8  | 7,6  |

*Nota.* La figura 69 muestra la desviación por lote de las mezclas patrón y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 70***Desviación estándar por lote*

| NAFTALENOS | Desviacion estandar ( $\delta 1$ )       |      |     |      |      |
|------------|--|------|-----|------|------|
|            | Contenido de cemento ( $\text{kg/m}^3$ ) |      |     |      |      |
| # Lote     | 250                                      | 275  | 300 | 325  | 350  |
| 1          | 6,8                                      | 16,1 | 8,7 | 6,3  | 4,8  |
| 2          | 0,3                                      | 23,0 | 6,5 | 0,9  | 8,7  |
| 3          | 11,1                                     | 5,9  | 9,1 | 12,6 | 5,3  |
| 4          | 4,2                                      | 12,2 | 8,2 | 4,0  | 5,4  |
| 5          | 8,1                                      | 1,4  | 3,7 | 10,4 | 5,0  |
| 6          | 6,1                                      | 13,1 | 7,8 | 15,4 | 16,4 |
| 7          | 6,7                                      | 2,0  | 4,8 | 1,6  | 16,6 |
| 8          | 10,3                                     | 10,1 | 3,7 | 7,6  | 8,5  |
| 9          | 7,8                                      | 25,6 | 6,2 | 31,5 | 8,1  |
| 10         | 7,7                                      | 0,6  | 4,6 | 9,5  | 1,8  |
| 11         | 9,3                                      | 3,8  | 6,8 | 6,4  | 1,8  |
| 12         | 10,3                                     | 10,8 | 2,5 | 9,2  | 7,2  |
| 13         | 4,4                                      | 3,1  | 8,9 | 3,1  | 17,2 |
| 14         | 7,4                                      | 5,8  | 7,4 | 4,4  | 5,5  |
| 15         | 2,9                                      | 4,7  | 6,8 | 7,8  | 3,7  |

*Nota.* La figura 70 muestra la desviación por lote de los diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 71***Desviación estándar por lote*

| POLICARBOXI<br>LATOS | Desviacion estandar ( $\delta_1$ )       |      |      |      |      |
|----------------------|--|------|------|------|------|
|                      | Contenido de cemento ( $\text{kg/m}^3$ ) |      |      |      |      |
| # Lote               | 250                                      | 275  | 300  | 325  | 350  |
| 1                    | 15,8                                     | 13,7 | 9,1  | 3,1  | 29,3 |
| 2                    | 2,2                                      | 6,3  | 10,1 | 4,5  | 6,0  |
| 3                    | 5,5                                      | 8,7  | 4,0  | 4,8  | 5,9  |
| 4                    | 7,8                                      | 5,3  | 6,8  | 4,6  | 6,4  |
| 5                    | 3,8                                      | 3,6  | 28,9 | 3,1  | 2,7  |
| 6                    | 12,1                                     | 6,5  | 1,7  | 11,9 | 5,0  |
| 7                    | 3,2                                      | 3,3  | 6,4  | 3,1  | 9,1  |
| 8                    | 12,6                                     | 0,7  | 6,7  | 2,3  | 14,4 |
| 9                    | 1,7                                      | 5,6  | 13,0 | 12,5 | 55,0 |
| 10                   | 5,3                                      | 10,4 | 7,9  | 1,7  | 13,6 |
| 11                   | 1,4                                      | 14,5 | 5,5  | 5,0  | 5,9  |
| 12                   | 2,9                                      | 9,2  | 3,2  | 2,2  | 7,2  |
| 13                   | 3,9                                      | 9,7  | 5,0  | 11,8 | 14,0 |
| 14                   | 4,5                                      | 8,1  | 1,7  | 4,1  | 5,1  |
| 15                   | 2,0                                      | 12,8 | 6,4  | 1,0  | 17,5 |

*Nota.* La figura 71 muestra la desviación por lote de los diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 72***Desviación estándar general*

| PATRÓN  | Desviacion estandar ( $\delta_2$ ) |     |      |      |      |
|---------|------------------------------------|-----|------|------|------|
|         | Contenido de cemento               |     |      |      |      |
| # Lotes | 250                                | 275 | 300  | 325  | 350  |
| 15      | 15,6                               | 9,7 | 13,1 | 13,5 | 13,6 |

*Nota.* La figura 72 muestra la desviación de los 15 lotes de mezclas patrón y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 73***Desviación estándar general*

| NAFTALENOS | Desviacion estandar ( $\delta_2$ ) |      |      |     |      |
|------------|------------------------------------|------|------|-----|------|
|            | Contenido de cemento               |      |      |     |      |
| # Lotes    | 250                                | 275  | 300  | 325 | 350  |
| 15         | 10,6                               | 12,6 | 10,9 | 9,3 | 12,5 |

*Nota.* La figura 73 muestra la desviación de los 15 lotes de diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 74**

*Desviación estándar general*

| POLICARBO<br>XILATOS | Desviacion estandar ( $\delta_2$ ) |      |      |      |      |
|----------------------|------------------------------------|------|------|------|------|
|                      | Contenido de cemento               |      |      |      |      |
| # Lotes              | 250                                | 275  | 300  | 325  | 350  |
| 15                   | 16,0                               | 12,9 | 17,4 | 12,3 | 17,7 |

*Nota.* La figura 74 muestra la desviación de los 15 lotes de diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.3.2 Coeficiente de variación.**

El parámetro del coeficiente de variación es un indicador de la desviación estándar representada en porcentaje con respecto al valor medio de la serie de datos analizados. Se lo calcula con la siguiente ecuación.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Donde:

$V =$  *Coeficiente de variación*

$\sigma =$  *Desviacion estandar*

$\bar{x} =$  *Promedio de los valores*

De acuerdo con la guía ACI 214-11R, el coeficiente de variación se lo debe analizar para la población ( $V_2$ ) que serían los 15 lotes y dentro del lote ( $V_1$ ), dichos valores deben estar en % y ser comparados con las siguientes tablas 13-14.

**Tabla 13***Estándares de control del hormigón  $\leq 35$  Mpa*

| <b>Variación general</b>          |   |           |         |         |       |
|-----------------------------------|---|-----------|---------|---------|-------|
| Clase de operación                | Desviación estándar de diferentes estándares de control (MPa) |           |         |         |       |
|                                   | Excelente   | Muy buena | Buena   | Regular | Mala  |
| Ensayos generales de construcción | < 2.8   | 2.8-3.4   | 3.4-4.1 | 4.1-4.8 | > 4.8 |
| Lotes de ensayo en laboratorio    | < 1.4   | 1.4-1.7   | 1.7-2.1 | 2.1-2.4 | > 2.4 |
| <b>Variación dentro del lote</b>  |   |           |         |         |       |
| Clase de operación                | Coeficiente de diferentes estándares de control (%)           |           |         |         |       |
|                                   | Excelente   | Muy buena | Buena   | Regular | Mala  |
| Ensayos de control en obra        | < 3.0   | 3.0-4.0   | 4.0-5.0 | 5.0-6.0 | > 6.0 |
| Lotes de ensayo en laboratorio    | < 2.0   | 2.0-3.0   | 3.0-4.0 | 4.0-5.0 | > 5.0 |

*Nota.* La tabla 14 muestra, los rangos en los cuales deben estar la desviación estándar y el coeficiente de variación para  $f'c \leq 35$  MPa. Fuente: ACI 214-R11 (2011).

**Tabla 14***Estándares de control de hormigón  $\geq 35$  Mpa*

| Variación general                 |   |           |         |         |        |
|-----------------------------------|---|-----------|---------|---------|--------|
| Clase de operación                | Desviación estándar de diferentes estándares de control (MPa) |           |         |         |        |
|                                   | Excelente   | Muy buena | Buena   | Regular | Mala   |
| Ensayos generales de construcción | < 7.0   | 7.0-9.0   | 9.0-11  | 11-14   | > 14.0 |
| Lotes de ensayo en laboratorio    | < 3.5   | 3.5-4.5   | 4.5-5.0 | 5.0-7.0 | > 7.0  |
| Variación dentro del lote         |   |           |         |         |        |
| Clase de operación                | Coeficiente de diferentes estándares de control (%)           |           |         |         |        |
|                                   | Excelente   | Muy buena | Buena   | Regular | Mala   |
| Ensayos de control en obra        | < 3.0   | 3.0-4.0   | 4.0-5.0 | 5.0-6.0 | > 6.0  |
| Lotes de ensayo en laboratorio    | < 2.0   | 2.0-3.0   | 3.0-4.0 | 4.0-5.0 | > 5.0  |

*Nota.* La tabla 15 muestra, los rangos en los cuales deben estar la desviación estándar y el coeficiente de variación para  $f'c \geq 35$  MPa. Fuente: ACI 214-R11 (2011).

La guía de resultados de la ACI proporciona valores y rangos más amplios de comparación con relación a la norma NTE INEN 1573, la cual dispone de los siguientes valores mostrados en la figura.

**Figura. 75**

*Precisión dentro del ensayo.*

|                             | Coeficiente de variación (ver nota 12) | Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales (ver nota 12) |             |
|-----------------------------|--|---|-------------|
|                             |  | 2 cilindros   | 3 cilindros |
| Cilindros de 150 por 300 mm | 2,4%                                   | 6,6%  | 7,8%        |
| Condiciones de laboratorio  | 2,9%                                   | 8,0%  | 9,5%        |
| Condiciones de campo        |  |   |             |
| Cilindros de 100 por 200 mm | 3,2%                                   | 9,0%  | 10,6%       |
| Condiciones de laboratorio  |  |   |             |

*Nota.* La figura 75 muestra, los valores del coeficiente de variación general y por lote.

Fuente: NTE INEN 1573 (2010).

**Figura. 76**

*Coeficiente de variación dentro de cada lote*

| PATRON | Coeficiente de variación (V1) %           |     |      |      |     |
|--------|---|-----|------|------|-----|
|        | Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |      |     |
| # Lote | 250                                       | 275 | 300  | 325  | 350 |
| 1      | 2,9                                       | 3,4 | 3,7  | 2,5  | 3,2 |
| 2      | 2,9                                       | 4,4 | 4,3  | 0,4  | 1,9 |
| 3      | 5,1                                       | 2,7 | 12,1 | 5,2  | 1,0 |
| 4      | 3,4                                       | 6,5 | 3,4  | 1,6  | 0,9 |
| 5      | 10,6                                      | 2,0 | 2,4  | 4,0  | 1,0 |
| 6      | 6,0                                       | 3,3 | 2,2  | 5,7  | 2,0 |
| 7      | 5,5                                       | 2,8 | 0,6  | 0,6  | 3,2 |
| 8      | 6,0                                       | 8,3 | 5,4  | 3,0  | 4,7 |
| 9      | 1,5                                       | 2,3 | 2,3  | 12,5 | 7,7 |
| 10     | 3,9                                       | 4,5 | 1,5  | 3,6  | 3,6 |
| 11     | 1,8                                       | 6,8 | 7,2  | 2,4  | 2,8 |
| 12     | 3,3                                       | 4,0 | 7,8  | 3,4  | 2,7 |
| 13     | 1,7                                       | 2,3 | 5,3  | 1,1  | 0,3 |
| 14     | 5,9                                       | 3,1 | 3,8  | 1,6  | 1,9 |
| 15     | 6,9                                       | 2,5 | 1,4  | 2,8  | 2,7 |

*Nota.* La figura 76 muestra, los valores del coeficiente de variación por lote de mezclas

patrón y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 77***Coefficiente de variación dentro de cada lote*

| NAFTALENOS | Coeficiente de variación (V1) %           |      |     |     |     |
|------------|---|------|-----|-----|-----|
|            | Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |     |     |
| # Lote     | 250                                       | 275  | 300 | 325 | 350 |
| 1          | 4,1                                       | 7,7  | 3,7 | 2,2 | 1,5 |
| 2          | 0,2                                       | 11,4 | 2,6 | 9,1 | 2,6 |
| 3          | 6,6                                       | 2,8  | 3,8 | 2,2 | 1,5 |
| 4          | 2,7                                       | 5,6  | 3,3 | 7,1 | 1,6 |
| 5          | 5,0                                       | 0,7  | 1,5 | 2,2 | 1,5 |
| 6          | 3,5                                       | 6,9  | 3,3 | 0,9 | 4,9 |
| 7          | 3,9                                       | 0,9  | 2,0 | 0,9 | 5,3 |
| 8          | 5,6                                       | 4,8  | 1,5 | 4,2 | 2,6 |
| 9          | 4,3                                       | 11,6 | 2,7 | 1,5 | 2,4 |
| 10         | 4,4                                       | 0,3  | 2,0 | 2,5 | 0,5 |
| 11         | 5,2                                       | 1,8  | 2,5 | 1,8 | 0,6 |
| 12         | 5,9                                       | 4,9  | 1,0 | 1,0 | 2,2 |
| 13         | 2,4                                       | 1,4  | 3,7 | 2,0 | 5,5 |
| 14         | 4,3                                       | 2,6  | 2,9 | 1,6 | 1,7 |
| 15         | 1,5                                       | 2,1  | 2,7 | 0,8 | 1,1 |

*Nota.* La figura 77 muestra, los valores del coeficiente de variación por lote de los diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 78***Coefficiente de variación dentro de cada lote*

| POLICARBOXI<br>LATOS | Coeficiente de variación (V1) %           |     |      |     |      |
|----------------------|---|-----|------|-----|------|
|                      | Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |     |      |
| # Lote               | 250                                       | 275 | 300  | 325 | 350  |
| 1                    | 8,5                                       | 5,3 | 3,1  | 0,9 | 7,4  |
| 2                    | 1,0                                       | 2,6 | 3,4  | 1,3 | 1,5  |
| 3                    | 2,6                                       | 3,4 | 1,3  | 1,2 | 1,4  |
| 4                    | 4,4                                       | 2,2 | 2,1  | 1,3 | 1,5  |
| 5                    | 1,8                                       | 1,3 | 10,1 | 0,8 | 0,7  |
| 6                    | 5,5                                       | 2,6 | 0,5  | 3,1 | 1,2  |
| 7                    | 1,5                                       | 1,3 | 2,1  | 0,8 | 2,2  |
| 8                    | 5,8                                       | 0,3 | 2,3  | 0,6 | 3,4  |
| 9                    | 0,8                                       | 2,2 | 4,5  | 3,4 | 13,6 |
| 10                   | 2,4                                       | 4,2 | 2,8  | 0,5 | 3,2  |
| 11                   | 0,6                                       | 5,8 | 1,8  | 1,4 | 1,4  |
| 12                   | 1,3                                       | 3,5 | 1,1  | 0,6 | 1,7  |
| 13                   | 1,7                                       | 3,6 | 1,7  | 3,4 | 3,4  |
| 14                   | 1,9                                       | 3,1 | 0,5  | 1,1 | 1,3  |
| 15                   | 0,8                                       | 4,7 | 2,1  | 0,3 | 4,2  |

*Nota.* La figura 78 muestra, los valores del coeficiente de variación por lote de los diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 79

*Coefficiente de variación general*

| PATRÓN  | Coeficiente de variación (V2) % |     |     |     |     |
|---------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|         | Contenido de cemento            |     |     |     |     |
| # Lotes | 250                             | 275 | 300 | 325 | 350 |
| 15      | 10,8                            | 5,3 | 6,1 | 5,2 | 4,6 |

*Nota.* La figura 79 muestra, los valores del coeficiente de variación general de los 15 lotes de mezclas patrón y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 80

*Coefficiente de variación general*

| NAFTALENOS | Coeficiente de variación (V2) % |     |     |     |     |
|------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|            | Contenido de cemento            |     |     |     |     |
| # Lotes    | 250                             | 275 | 300 | 325 | 350 |
| 15         | 6,1                             | 5,9 | 4,4 | 3,3 | 3,8 |

*Nota.* La figura 80 muestra, los valores del coeficiente de variación general de los 15 lotes de diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 81

*Coefficiente de variación general*

| POLICARBO<br>XILATOS | Coeficiente de variación (V2) % |     |     |     |     |
|----------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                      | Contenido de cemento            |     |     |     |     |
| # Lotes              | 250                             | 275 | 300 | 325 | 350 |
| 15                   | 7,5                             | 5,0 | 5,8 | 3,4 | 4,3 |

*Nota.* La figura 81 muestra, los valores del coeficiente de variación general de los 15 lotes de diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.3.3 Distribución normal.**

“La distribución normal es un modelo teórico capaz de aproximar satisfactoriamente el valor de una variable aleatoria a una situación ideal” (Rodo, 2019). Dicha grafica se la aplica en el análisis estadístico de la resistencia a la compresión,



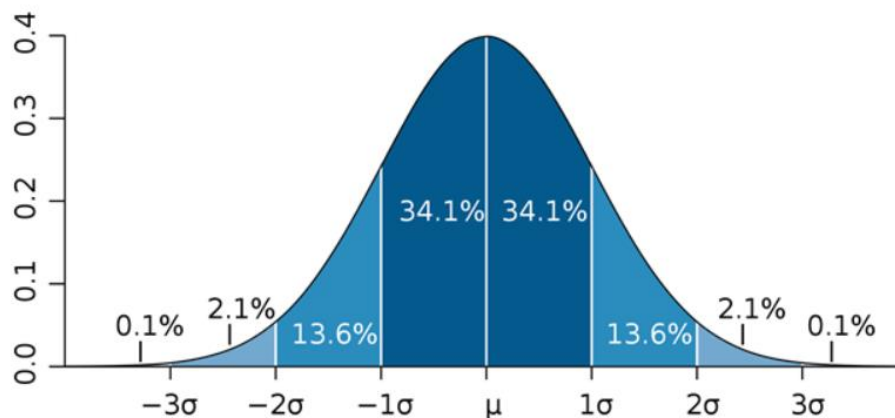
ya que nos muestra el comportamiento de los datos recolectados en los cuales influye el valor promedio y la desviación estándar para su construcción.

Adicional a esto, se analizan criterios matemáticos importantes, los cuales determinan si la gráfica de la distribución está en condiciones ideales:

- El 68.27% de los datos deben estar dentro del intervalo entre el valor promedio y la desviación estándar a ambos lados de la gráfica.
- El 95.45% de los datos deben estar dentro del intervalo de dos veces la desviación estándar a ambos lados de la gráfica.
- La distribución normal es simetría siempre y cuando la media, la moda y la mediana sean iguales.

**Figura. 82**

*Grafica de distribución normal.*

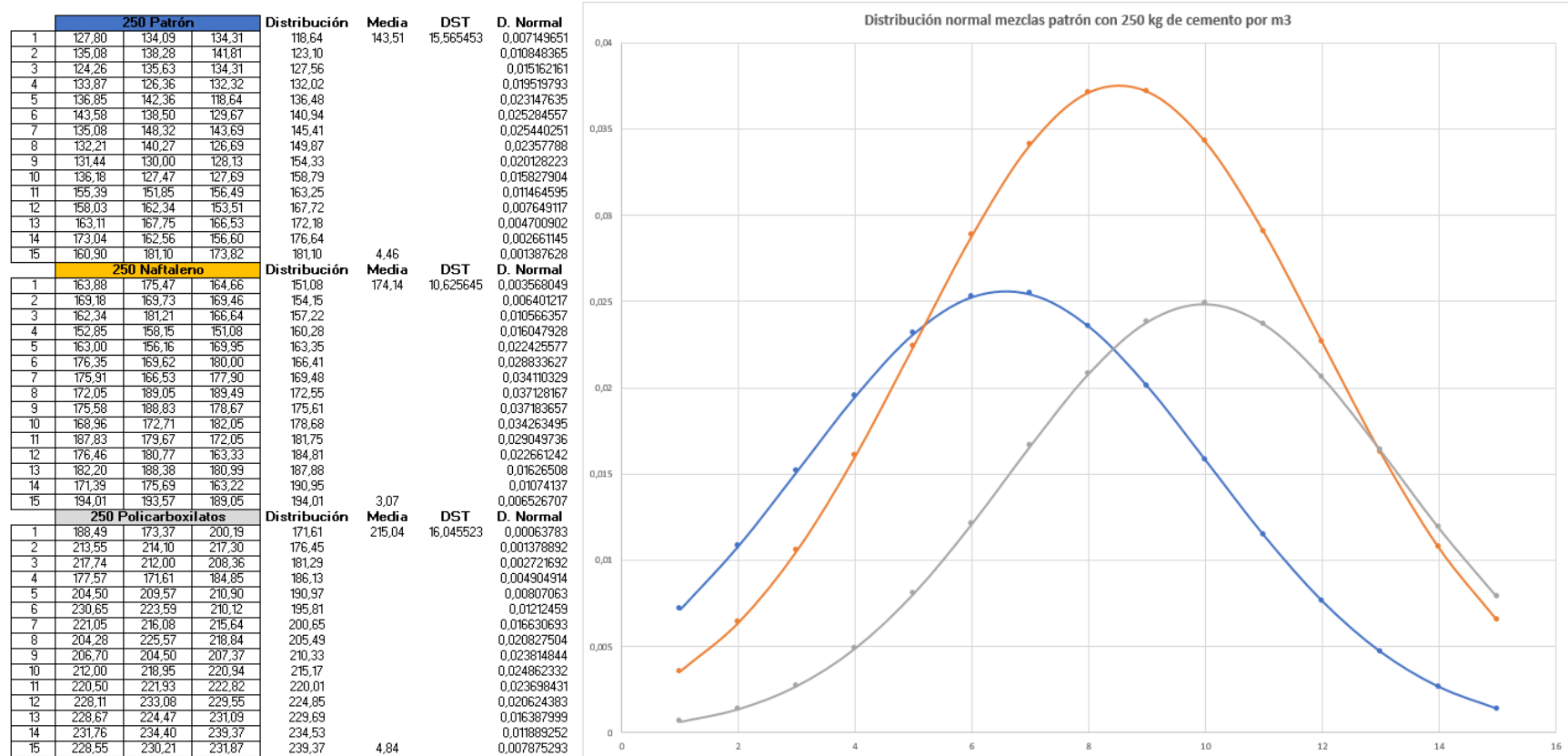


*Nota.* La figura 82 muestra, las características típicas que debe tener una distribución normal ideal. Fuente: Excel Total (2022).

“Cuando existe un control satisfactorio de una mezcla de concreto, los valores del ensayo de resistencia tienden a agruparse cerca del valor promedio lo cual hace que el histograma de los resultados del ensayo parezca alto y angosto” (ACI, 2017). Por lo tanto la distribución normal mostrara la misma forma, debido a que la desviación estándar es baja, haciendo que el 68.27 % de los datos este dentro de este intervalo.

**Figura. 83**

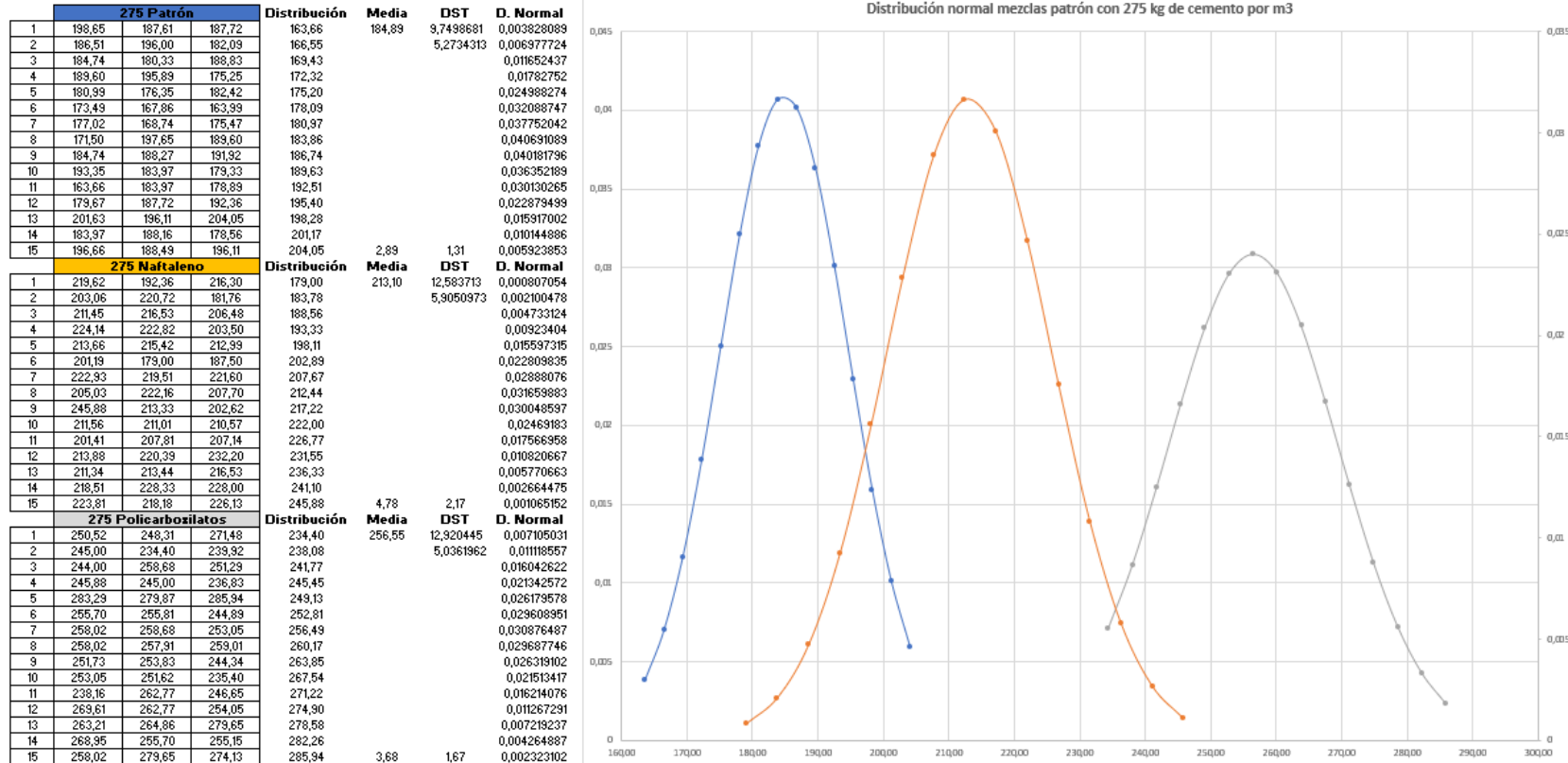
*Distribución normal de las resistencias a la compresión*



*Nota.* La figura 83 muestra la distribución normal de las resistencias a la compresión de los diseños patrón, diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos para un contenido de cemento de 250 kg. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 84**

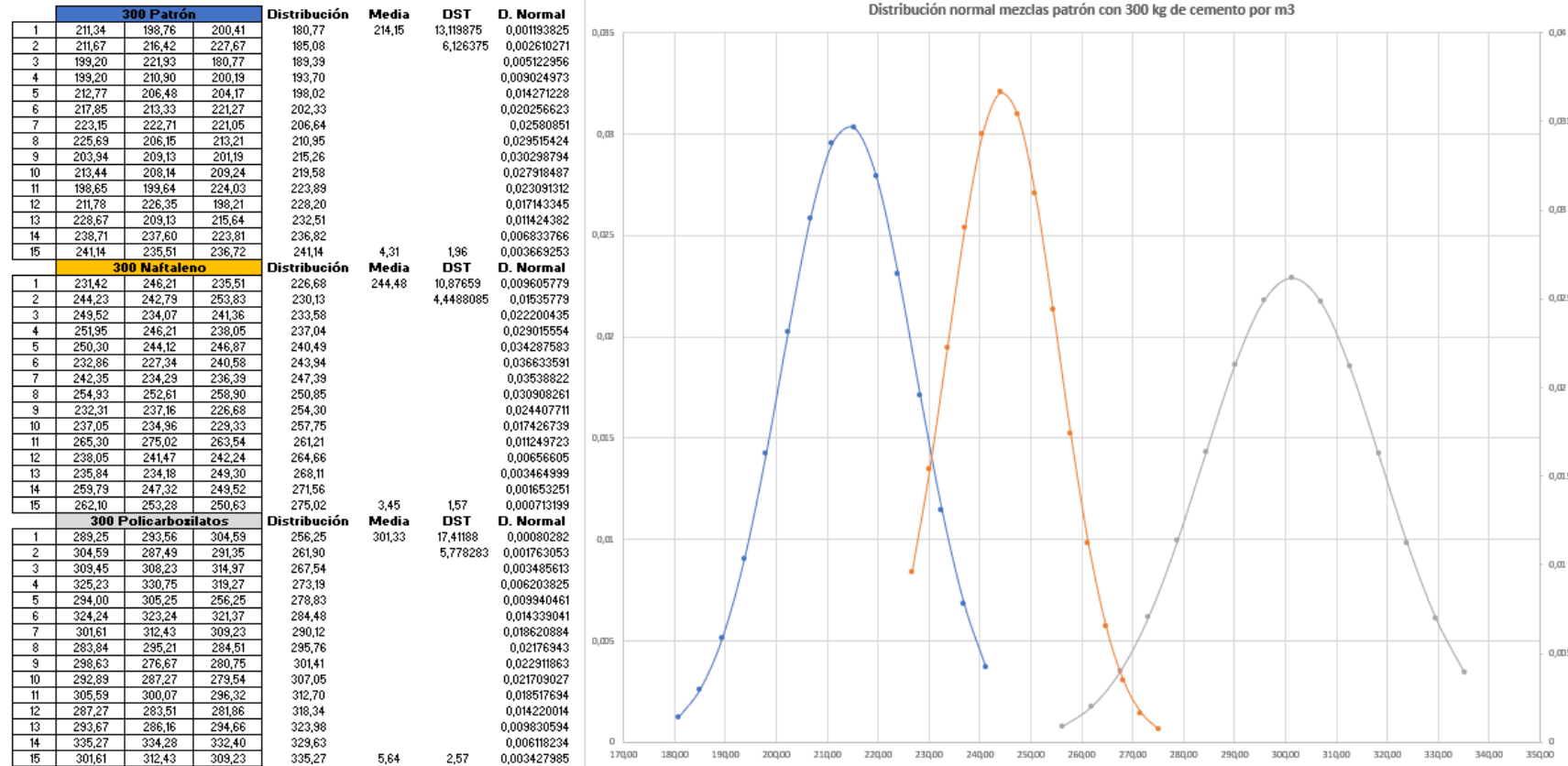
*Distribución normal de las resistencias a la compresión*



*Nota.* La figura 84 muestra la distribución normal de las resistencias a la compresión de los diseños patrón, diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos para un contenido de cemento de 275 kg. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 85**

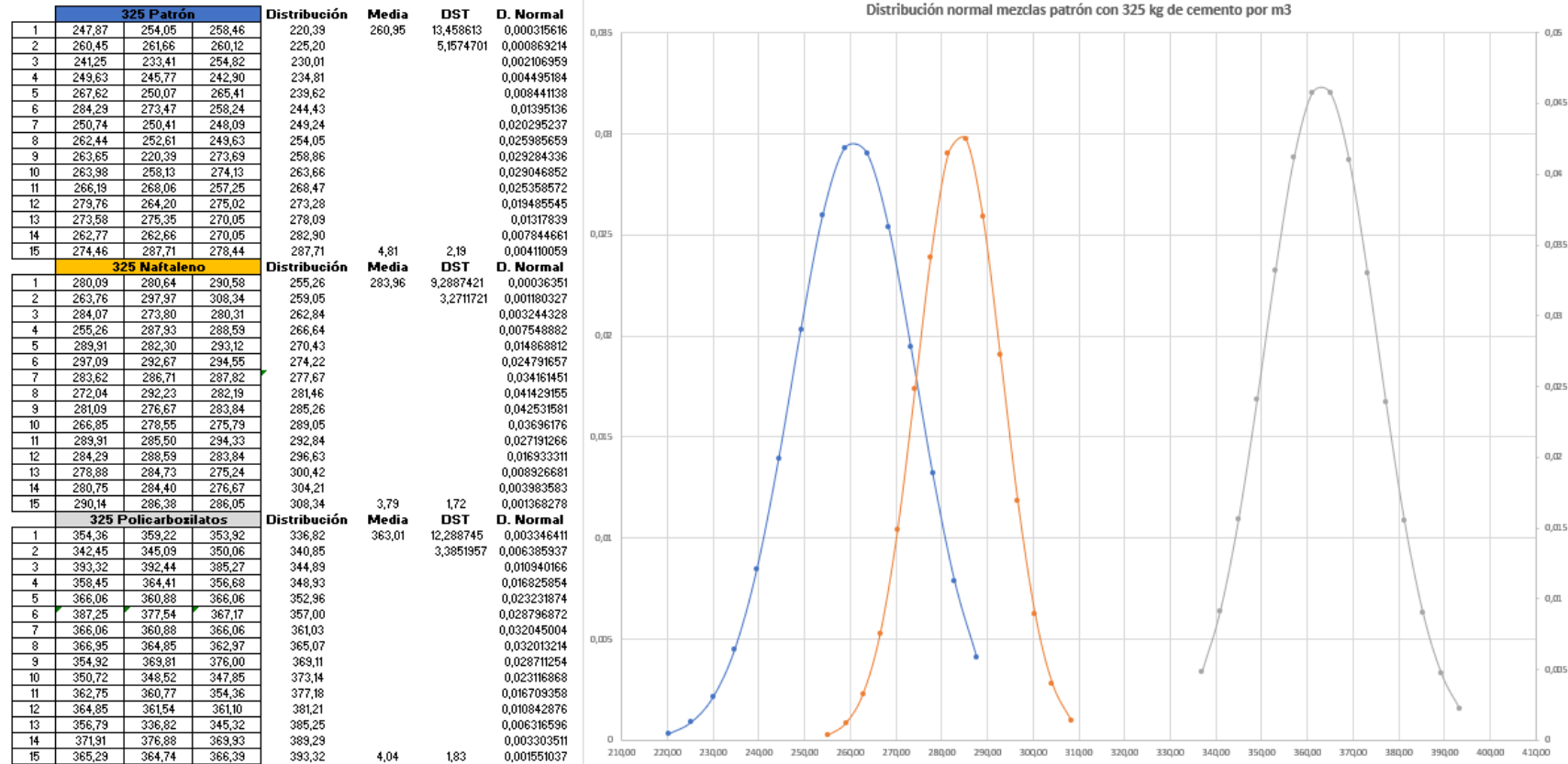
*Distribución normal de las resistencias a la compresión*



*Nota.* La figura 85 muestra la distribución normal de las resistencias a la compresión de los diseños patrón, diseños con aditivos sobre la base de naftaleno y diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos para un contenido de cemento de 300 kg. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 86**

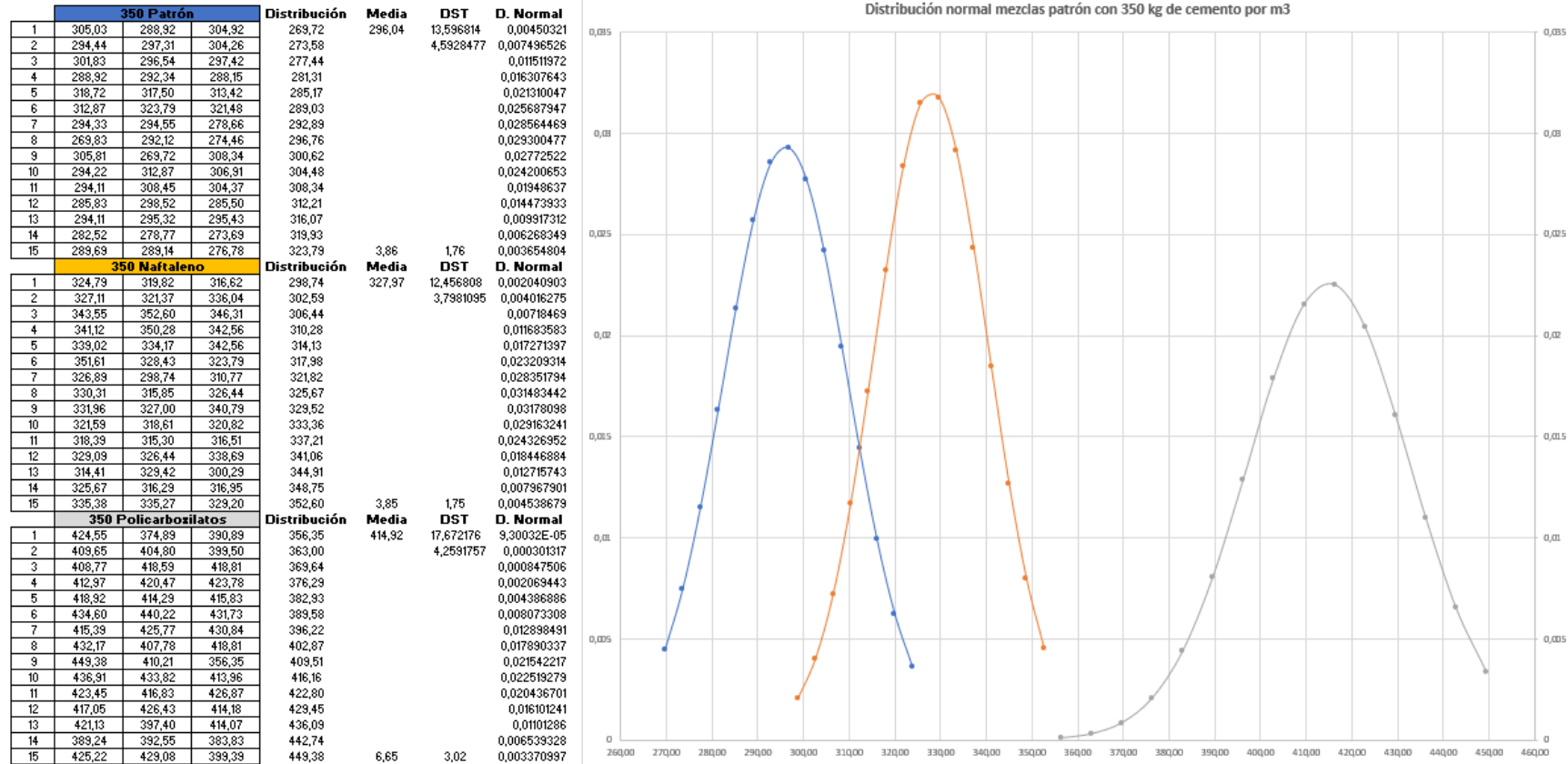
*Distribución normal de las resistencias a la compresión*



*Nota.* La figura 86 muestra la distribución normal de las resistencias a la compresión de los diseños patrón, diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos para un contenido de cemento de 325 kg. Elaborado por: Los autores.

**Figura. 87**

*Distribución normal de las resistencias a la compresión*



*Nota.* La figura 87 muestra la distribución normal de las resistencias a la compresión de los diseños patrón, diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos para un contenido de cemento de 350 kg. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 88

*Parámetros de simetría de la gráfica de distribución normal*

| PATRÓN    | Simetría de la distribución normal     |       |       |       |       |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|
|           | Contenido de cemento kg/m <sup>3</sup> |       |       |       |       |
| Parametro | 250                                    | 275   | 300   | 325   | 350   |
| Media     | 143,5                                  | 184,9 | 214,2 | 261,0 | 296,0 |
| Moda      | 134,3                                  | 184,0 | 199,2 | 249,6 | 288,9 |
| Mediana   | 138,3                                  | 184,7 | 212,8 | 262,4 | 294,5 |

*Nota.* La figura 88 muestra, los parámetros de simetría de una distribución normal para las mezclas patrón y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 89

*Parámetros de simetría de la gráfica de distribución normal*

| NAFTALENOS | Desviacion estandar ( $\delta_2$ ) |       |       |       |       |
|------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Contenido de cemento               |       |       |       |       |
| Parametro  | 250                                | 275   | 300   | 325   | 350   |
| Media      | 174,1                              | 213,1 | 244,5 | 284,0 | 328,0 |
| Moda       | 172,1                              | 216,5 | 246,2 | 288,6 | 342,6 |
| Mediana    | 175,5                              | 213,7 | 242,8 | 284,3 | 327,0 |

*Nota.* La figura 89 muestra, los parámetros de simetría de una distribución normal para diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 90

*Parámetros de simetría de la gráfica de distribución normal*

| POLICARBO<br>XILATOS | Desviacion estandar ( $\delta_2$ ) |       |       |       |       |
|----------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                      | Contenido de cemento               |       |       |       |       |
| Parametro            | 250                                | 275   | 300   | 325   | 350   |
| Media                | 215,0                              | 256,6 | 301,3 | 363,0 | 414,9 |
| Moda                 | 212,0                              | 258,0 | 304,6 | 366,1 | 418,8 |
| Mediana              | 217,7                              | 255,7 | 300,1 | 363,0 | 417,0 |

*Nota.* La figura 90 muestra, los parámetros de simetría de una distribución normal para diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 91

Condiciones ideales de la gráfica de distribución normal

| PATRÓN     | Condiciones ideales de la distribución normal |       |       |       |       |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|
|            | Contenido de cemento kg/m <sup>3</sup>        |       |       |       |       |
| Parametros | 250   | 275   | 300   | 325   | 350   |
| Media+Dst  | 159,1   | 194,6 | 227,3 | 274,4 | 309,6 |
| Media-Dst  | 127,9   | 175,1 | 201,0 | 247,5 | 282,4 |
| Media+2Dst | 174,6   | 204,4 | 240,4 | 287,9 | 323,2 |
| Media-2Dst | 112,4   | 165,4 | 187,9 | 234,0 | 268,8 |
| Cond1      | 29,0  | 30,0  | 29,0  | 33,0  | 31,0  |
| Cond2      | 44,0  | 43,0  | 43,0  | 43,0  | 44,0  |
| 68,27%     | 64,4  | 66,7  | 64,4  | 73,3  | 68,9  |
| 95,45%     | 97,8  | 95,6  | 95,6  | 95,6  | 97,8  |

Nota. La figura 91 muestra, las condiciones ideales de la distribución normal para mezclas patrón y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 92

Condiciones ideales de la gráfica de distribución normal

| NAFTALENOS | Condiciones ideales de la distribución normal |       |       |       |       |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|
|            | Contenido de cemento                          |       |       |       |       |
| Parametros | 250   | 275   | 300   | 325   | 350   |
| Media+Dst  | 184,8   | 225,7 | 255,4 | 293,2 | 340,4 |
| Media-Dst  | 163,5   | 200,5 | 233,6 | 274,7 | 315,5 |
| Media+2Dst | 195,4   | 238,3 | 266,2 | 302,5 | 352,9 |
| Media-2Dst | 152,9   | 187,9 | 222,7 | 265,4 | 303,1 |
| Cond1      | 29,0  | 36,0  | 33,0  | 35,0  | 31,0  |
| Cond2      | 43,0  | 41,0  | 44,0  | 42,0  | 43,0  |
| 68,27%     | 64,4  | 80,0  | 73,3  | 77,8  | 68,9  |
| 95,45%     | 95,6  | 91,1  | 97,8  | 93,3  | 95,6  |

Nota. La figura 92 muestra, las condiciones ideales de la distribución normal para diseños con aditivos sobre la base de naftalenos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.

### Figura. 93

Condiciones ideales de la gráfica de distribución normal

| POLICARBOXILATOS | Condiciones ideales de la distribución normal |       |       |       |       |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|
|                  | Contenido de cemento                          |       |       |       |       |
| Parametros       | 250   | 275   | 300   | 325   | 350   |
| Media+Dst        | 231,1   | 269,5 | 318,7 | 375,3 | 432,6 |
| Media-Dst        | 199,0   | 243,6 | 283,9 | 350,7 | 397,2 |
| Media+2Dst       | 247,1   | 282,4 | 336,2 | 387,6 | 450,3 |
| Media-2Dst       | 182,9   | 230,7 | 266,5 | 338,4 | 379,6 |
| Cond1            | 34,0  | 32,0  | 29,0  | 30,0  | 34,0  |
| Cond2            | 42,0  | 43,0  | 44,0  | 42,0  | 43,0  |
| 68,27%           | 75,6  | 71,1  | 64,4  | 66,7  | 75,6  |
| 95,45%           | 93,3  | 95,6  | 97,8  | 93,3  | 95,6  |

Nota. La figura 93 muestra, las condiciones ideales de la distribución normal para diseños con aditivos sobre la base de policarboxilatos y por contenido de cemento. Elaborado por: Los autores.



## CONCLUSIONES

Del análisis realizado a los resultados de la presente investigación podemos concluir lo siguiente:

La ganancia de resistencia a 28 días por cada 25 kg de cemento en las mezclas está en un promedio de 38 kgf/cm<sup>2</sup> para las mezclas patrón, 39 kgf/cm<sup>2</sup> para las mezclas con aditivos sobre la base de naftalenos y 50 kgf/cm<sup>2</sup> para las mezclas con aditivos sobre la base de policarboxilatos. En porcentaje podemos decir que con los aditivos sobre la base de policarboxilatos tenemos una ganancia de resistencia a compresión de 28% sobre las mismas condiciones cuando se usa aditivos sobre la base de naftalenos.

La eficiencia del cemento a 28 días en las mezclas patrón en promedio es de 0.72 kgf/cm<sup>2</sup>/kg de cemento, 0.82 kgf/cm<sup>2</sup>/kg de cemento para las mezclas con aditivos sobre la base de naftalenos y 1.02 kgf/cm<sup>2</sup>/kg de cemento para las mezclas con aditivos sobre la base de policarboxilatos; es decir que tenemos un 25% más de eficiencia de los policarboxilatos sobre los naftalenos.

Como se menciona en el punto anterior las mezclas con aditivos sobre la base policarboxilatos hacen que el cemento tenga una mejor eficiencia y podemos además argumentar que:

Existe una potencial reducción en promedio 25 kg/m<sup>3</sup> de cemento en las mezclas de hormigón al utilizar aditivos sobre la base en policarboxilatos con respecto a las mezclas con aditivos sobre la base de naftalenos.

Las prestaciones de los hormigones que llevan aditivos sobre la base de policarboxilatos, se potencian en mezclas con contenidos de cemento superior a los 300 kg/m<sup>3</sup>.

El comportamiento de la mezcla con respecto a su revenimiento (asentamiento), en el tiempo es más estable cuando se coloca aditivos sobre la base policarboxilatos; el mismo puede mantenerse aproximadamente 2,5 horas.

Aplicando lo indicado en el punto anterior se puede concluir que, el problema retemplado o aumento de agua en obra se reducirán de manera drástica por la estabilidad que presentan las mezclas con aditivos sobre la base de policarboxilatos.

Del análisis estadístico se concluye lo siguiente:

La desviación estándar de las diferentes mezclas se resume en la siguiente tabla 16.

**Tabla 15**

*Resultados de desviación estándar*

| Desviación estándar (MPa)                              |   |           |       |           |       |
|--|---|-----------|-------|-----------|-------|
| Tipo de prueba   | Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) |           |       |           |       |
|  | 250                                       | 275       | 300   | 325       | 350   |
| Mezclas Patrón   | 1,53                                      | 0,96      | 1,29  | 1,32      | 1,33  |
| Mezclas con aditivos sobre la base de Naftalenos       | 1,04                                      | 1,23      | 1,07  | 0,91      | 1,22  |
| Mezclas con aditivos sobre la base de Policarboxilatos | 1,57                                      | 1,27      | 1,71  | 1,20      | 1,73  |
| Calificación   | Muy Buena                                 | Excelente | Buena | Excelente | Buena |

*Nota.* La tabla 16 muestra, las desviaciones estándar de las diferentes mezclas (patrón, naftalenos y policarboxilatos) y por contenido de cemento por metro cúbico. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 16***Resultados de coeficiente de variación*

| Coeficiente de Variación (%)                           |   |         |         |       |       |
|--|---|---------|---------|-------|-------|
| Tipo de prueba   | Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) |         |         |       |       |
|  | 250                                       | 275     | 300     | 325   | 350   |
| Mezclas Patrón   | 4.5                                       | 3.9     | 4.2     | 3.4   | 2.6   |
| Mezclas con aditivos sobre la base de Naftalenos       | 4.0                                       | 4.4     | 2.6     | 2.7   | 2.4   |
| Mezclas con aditivos sobre la base de Policarboxilatos | 2.7                                       | 3.1     | 2.6     | 1.4   | 3.2   |
| Calificación   | Regular                                   | Regular | Regular | Buena | Buena |

*Nota.* La tabla 17 muestra, el coeficiente de variación de las diferentes mezclas (patrón, naftalenos y policarboxilatos) y por contenido de cemento por metro cúbico. Elaborado por: Los autores.

## **RECOMENDACIONES**

Con base en los resultados y las conclusiones de estos podemos recomendar lo siguiente:

Analizar las posibles optimizaciones en los diseños que actualmente se despachan.

Utilizar el aditivo sobre la base de polycarboxilatos en diseños que tengan más de 300 kg/m<sup>3</sup> de cemento, ya que su eficiencia mejora notablemente.

Mantener el sistema de control de calidad en virtud de los resultados obtenidos de desviación estándar y coeficiente de variación.

Desarrollo de un análisis económico con respecto al uso de aditivos sobre la base de naftalenos y carboxilatos dentro de la industria del hormigón UCEM.

Con base en el presente trabajo se recomienda hacer una investigación enfocada en el análisis estadístico de resistencias a la compresión sobre los 35 MPa utilizando aditivos sobre la base de polycarboxilatos.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Cemento HE:** Cemento hidráulico resistente a sulfato
- **Relación agua cemento (a/c):** relación del contenido de agua sobre el contenido de cemento en una mezcla de hormigón.
- **Revenimiento:** consistencia del hormigón fresco medido en centímetros
- **Exudación:** liberación de agua superficial en el hormigón fresco
- **Segregación:** separación de del agregado grueso de la mezcla de hormigón fresco
- **Curado de hormigón:** proceso de hidratación del hormigón endurecido
- **Rendimiento:** eficiencia de la mezcla de hormigón fresco
- **Naftaleno:** Elemento químico carburante aromatizado
- **Policarboxilato:** Copolímeros de ácido acrílico y grupos éter de ácido acrílico

## REFERENCIAS

- ACI. (2011). *ACI 214R-11 Resultados de las pruebas de resistencia del hormigón*. 15. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/tecnologia-del-concreto/aci-214r-11-guide-to-evaluation-of-strenenesva/16942680>
- ACI. (2017). *Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto del ACI 214RS-11*. <https://es.scribd.com/document/511536715/ACI-214RS-11>
- Arriaga, J. (2017). Clasificación de aditivo reductor de agua de alto rango para mezclas de concreto de acuerdo a coguanor NTG 41070 [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. In *Universidad de San Carlos de Guatemala*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6991/>
- Cadena, A. (2017). *Trabalho em equipe*. Construccion Latinoamericana. <https://www.construcaolatinoamericana.com/news/Trabalho-em-equipe/3129291.article>
- Campoverde, S., & Muñoz, D. (2015). *Estudio Experimental Del Uso De Diferentes Aditivos Como Plastificantes Reductores De Agua En La Elaboración De Hormigón Y Su Influencia En La Propiedad De Resistencia a La Compresión*.
- Checmarew, L. (2010, April 30). *Hormigones con aditivos hiperfluidificantes para uso vial - Asociación Argentina del Hormigón Elaborado*. Asociacion Argentina Del Hormigon Elaborado . <https://hormigonelaborado.com/hormigones-con-aditivos-hiperfluidificantes-para-uso-vial/>
- De Carvalho, S., Soares, A., Oliveira, W., & Tochtrop, H. (2016). Influência Do Aditivo Hiperplastificante No Concreto Convencional Effect of Polycarboxylate Superplasticizer on Conventional Concrete [Conferencia]. *Anais Do 58º Congresso Brasileiro Do Concreto -Cbc2016 – 58Cbc2016*, Belo Horizonte, Brasil. [https://www.researchgate.net/publication/309683198\\_INFLUENCIA\\_DO\\_ADITIVO\\_HIPERPLASTIFICANTE\\_NO\\_CONCRETO\\_CONVENCIONAL\\_EFFECT\\_OF\\_POLYCARBOXYLATE\\_SUPERPLASTICIZER\\_ON\\_CONVENTIONAL\\_CONCRETE](https://www.researchgate.net/publication/309683198_INFLUENCIA_DO_ADITIVO_HIPERPLASTIFICANTE_NO_CONCRETO_CONVENCIONAL_EFFECT_OF_POLYCARBOXYLATE_SUPERPLASTICIZER_ON_CONVENTIONAL_CONCRETE)
- Diaz, L., & Torrez, J. (2020). Análisis de diferentes dosis de aditivos superplastificantes

- en las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico con base a diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso tipo silíceo. In *Universidad de Cartagena*.
- EHE-08. (2010). Instrucción de Hormigón Estructural-EHE-08. *Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento* ©, 4, 702.
- INEC. (2020). *Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED)*. [Encuesta Edificaciones]. Archivo Digital. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Encuesta\\_Edificaciones/2019/2.2019\\_ENED\\_Principales\\_resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2019/2.2019_ENED_Principales_resultados.pdf)
- La-Hora. (2008). *Evolución de la construcción : Noticias Imbabura : La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo*. <https://lahora.com.ec/noticia/706261/evolucin-de-la-construccion>
- Lascarro, M. (2017). *Indicadores concretos - Construcción latinoamericana*. Construcción Latinoamericana. <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/Indicadores-de-concreto/3128426.article>
- León, L., Torres, L., & Rodríguez, C. (2020). *Disminución del contenido de cemento a partir de un diseño de mezcla en la Unidad de Servicios Básicos Hormigón*. <https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490005/html/>
- Lira, G. (2021). *La importancia de los aditivos en concreto - Construcción Latinoamericana*. Construcción Latinoamericana. <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/La-importancia-de-los-aditivos-en-concreto/8013937.article>
- Lopez, J. (2017, October 2). *Desviación estándar o típica | Economipedia*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/desviacion-tipica.html>
- MBS. (2015a). *MasterGlenium* ® 7950. <https://www.master-builders-solutions.com/es-centroamerica/products/masterglenium>
- MBS. (2015b). *MasterRheobuild* ® 1000. <https://www.master-builders-solutions.com/es-centroamerica/products/masterrheobuild/masterrheobuild-1000>
- Melorse, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). *Norma Ecuatoriana De La Construcción*

- *Estructuras De Hormigon Armado. 1*, 31.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto- Tomo 1* (Vol. 25, Issue 36).

<https://doku.pub/documents/tecnologia-del-concreto-tomo-1-9qgo5vjv3kln>

NTE-INEN-1573. (2010). NTE INEN 1573:2010. Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico. *Nte Inen, 1*(Primera Edición), 5.

<http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1573.pdf>

NTE-INEN-1855-1. (2015). Nte Inen 1855-1. *Hormigon. Hormigon Premezclado.*

*Requisitos, 1*, 24. <https://www.normalizacion.gob.ec>

NTE-INEN-696. (2014). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE-INEN-697. (2010). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz*

*con aberturas de 75 um (No. 200), mediante lavado. Instituto Ecuatoriano de*

*Normalización, 21.*

NTE-INEN-855. (2010). *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. NTE INEN 855.* Instituto Ecuatoriano de Normalizacion.

[http://www.normalizacion.gob.ec/wp-](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extra)

[content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO\\_2014/JSI/nte\\_inen\\_iso\\_26000extra](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extra)  
[cto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extra)

NTE-INEN-860. (2011). *RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1½") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES Nte Inen 860 : 2011.*

Oliveira, F. (2015). *Concreto: Siempre ahí - Construcción Latinoamericana.*

Construccion Latinoamericana.

<https://www.construcaolatinoamericana.com/news/Concreto-Sempre-a-3114091.article>

Oliveira, F. (2017a). *Aditivos: química moderna - construcción latinoamericana.*

Construccion Latinoamericana.

<https://www.construcaolatinoamericana.com/news/Aditivos-qu-mica->



moderna/3129298.article

Oliveira, F. (2017b). *Concreto automatizado - Construção Latino Americana*.

Construccion Latinoamericana.

<https://www.construcaolatinoamericana.com/news/Concreto-automatizado/3129293.article>

Oliveira, F. (2018). Mixers. *Concreto Latinoamericano*, 34.

<https://www.khl.com/magazines/concreto-latinoamericano-mayo-2018/1133246.article>

Peters, C. (2020). *Demanda intacta - Construcción latinoamericana*. Construcción Latinoamericana. <https://www.construcaolatinoamericana.com/news/Demanda-intacta/3147506.article>

Rodo, P. (2019, November 10). *Distribución normal - Qué es, definición y concepto / Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/distribucion-normal.html>

UCEM. (2018). *Ficha Técnica Cemento Industrial De Alta Resistencia*. Cemento Chimborazo. <https://www.ucem.com.ec/wp-content/uploads/2020/06/FICHA-TECNICA-CEMENTO-CHIMBORAZO-HE.pdf>

Valverde, C., Serrano, Y., & Dominguez, J. (2018). *Nuevas tecnologías en el mundo de los aditivos superplastificantes para hormigón*. Sika S.A.U.

<https://nandarquitectura.com/2016/03/10/nuevas-tecnologias-en-el-mundo-de-los-aditivos-superplastificantes-para-hormigon/10752>

Vidaud. (2013). *De la Historia del Cemento*. Academia. [www.yucatan-holidays.com/es/los-5-mejores-sitios-](http://www.yucatan-holidays.com/es/los-5-mejores-sitios-)

## ANEXOS

### ANEXO: 1- DETALLE COSTEO DE MEZCLAS

| Contenido de cemento | kg | 250     | 275    | 300     | 325     | 350    | \$/kg |
|----------------------|----|---------|--------|---------|---------|--------|-------|
| Cemento              | kg | 255     | 281    | 300     | 325     | 350    | 0,163 |
| Agua                 | kg | 284     | 284    | 283     | 277     | 258    | 0,003 |
| Arena San Antonio    | kg | 1029,98 | 1016,4 | 1003,58 | 1000,06 | 996,4  | 0,006 |
| Piedra 3/4"          | kg | 603,17  | 595,22 | 587,71  | 575,65  | 565,98 | 0,012 |
|                      | kg |         |        |         |         |        |       |

|                                  |         |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Costo                            | \$/m3   | 55,84 | 59,90 | 62,82 | 66,71 | 70,60 |
| Resistencia promedio f' c Patrón | kgf/cm2 | 163   | 188   | 222   | 261   | 290   |
| \$/kgf                           |         | 0,34  | 0,32  | 0,28  | 0,26  | 0,24  |

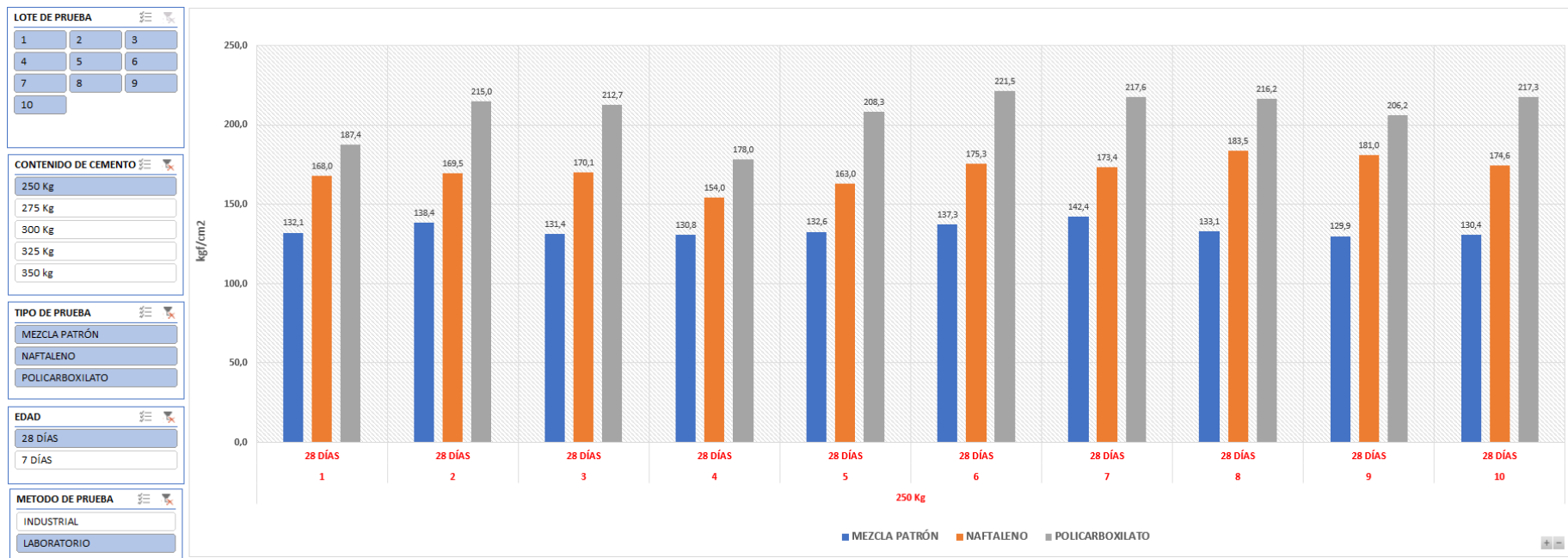
| Contenido de cemento                | kg | 250     | 275     | 300     | 325     | 350     | \$/kg |
|-------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Cemento                             | kg | 255     | 281     | 300     | 325     | 350     | 0,163 |
| Agua                                | kg | 261     | 257     | 259     | 262     | 260     | 0,003 |
| Arena San Antonio                   | kg | 1097,43 | 1088,62 | 1071,51 | 1052,36 | 1040,85 | 0,006 |
| Piedra 3/4"                         | kg | 642,67  | 637,51  | 627,5   | 616,28  | 609,54  | 0,012 |
| Aditivo sobre la base de naftalenos | kg | 2,04    | 1,96    | 1,84    | 1,82    | 1,79    | 1,8   |

|                              |         |       |       |       |       |       |
|------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Costo                        | \$/m3   | 60,32 | 64,28 | 66,95 | 70,75 | 74,61 |
| Resistencia promedio f' c Na | kgf/cm2 | 180   | 218   | 251   | 285   | 323   |
| \$/kgf                       |         | 0,34  | 0,30  | 0,27  | 0,25  | 0,23  |

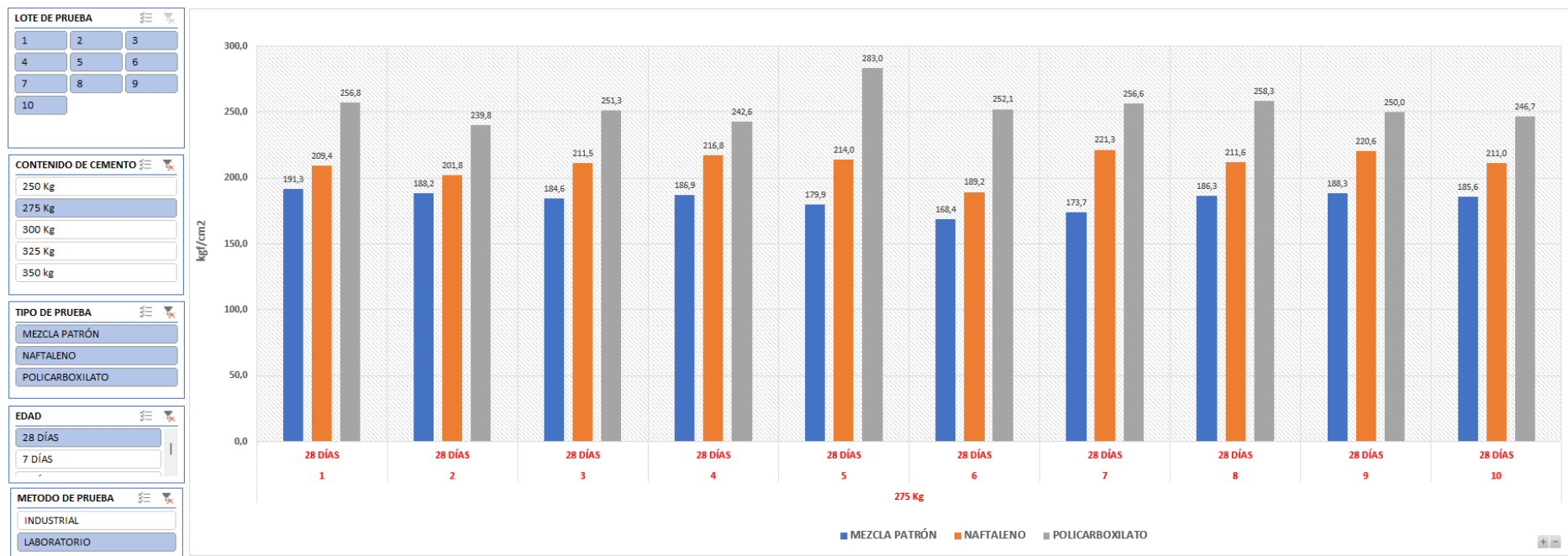
| Contenido de cemento                      | kg | 250     | 275     | 300     | 325     | 350     | \$/kg |
|---|----|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Cemento                                   | kg | 255     | 281     | 300     | 325     | 350     | 0,163 |
| Agua                                      | kg | 249     | 245     | 243     | 250     | 254     | 0,003 |
| Arena San Antonio                         | kg | 1116,19 | 1109,29 | 1098,66 | 1071,91 | 1051,28 | 0,006 |
| Piedra 3/4"                               | kg | 653,66  | 649,62  | 643,39  | 627,73  | 615,65  | 0,012 |
| Aditivo sobre la base de policarboxilatos | kg | 2,04    | 1,96    | 1,84    | 1,82    | 1,79    | 3,25  |

|                              |         |       |       |       |       |       |
|------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Costo                        | \$/m3   | 63,48 | 67,36 | 69,92 | 73,60 | 77,32 |
| Resistencia promedio f' c Po | kgf/cm2 | 229   | 262   | 304   | 361   | 412   |
| \$/kgf                       |         | 0,28  | 0,26  | 0,23  | 0,20  | 0,19  |

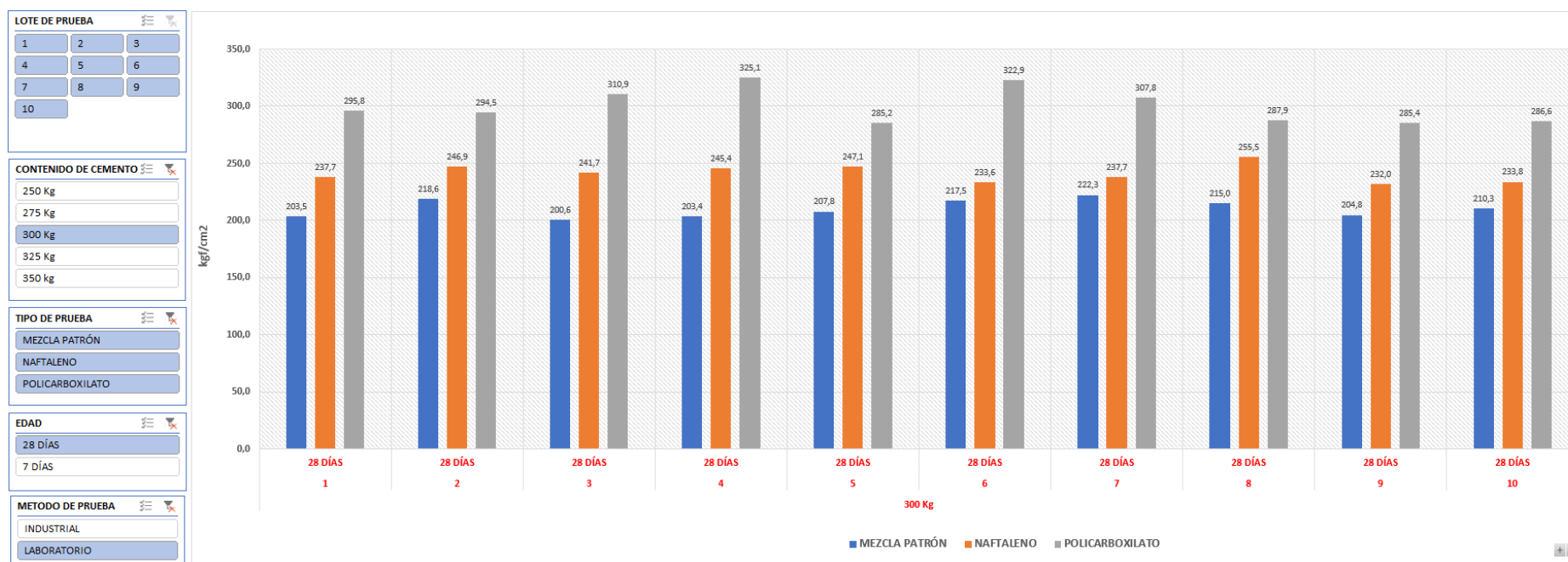
## ANEXO: 2- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN DE LABORATORIO, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 250 kg/m3 DE CEMENTO



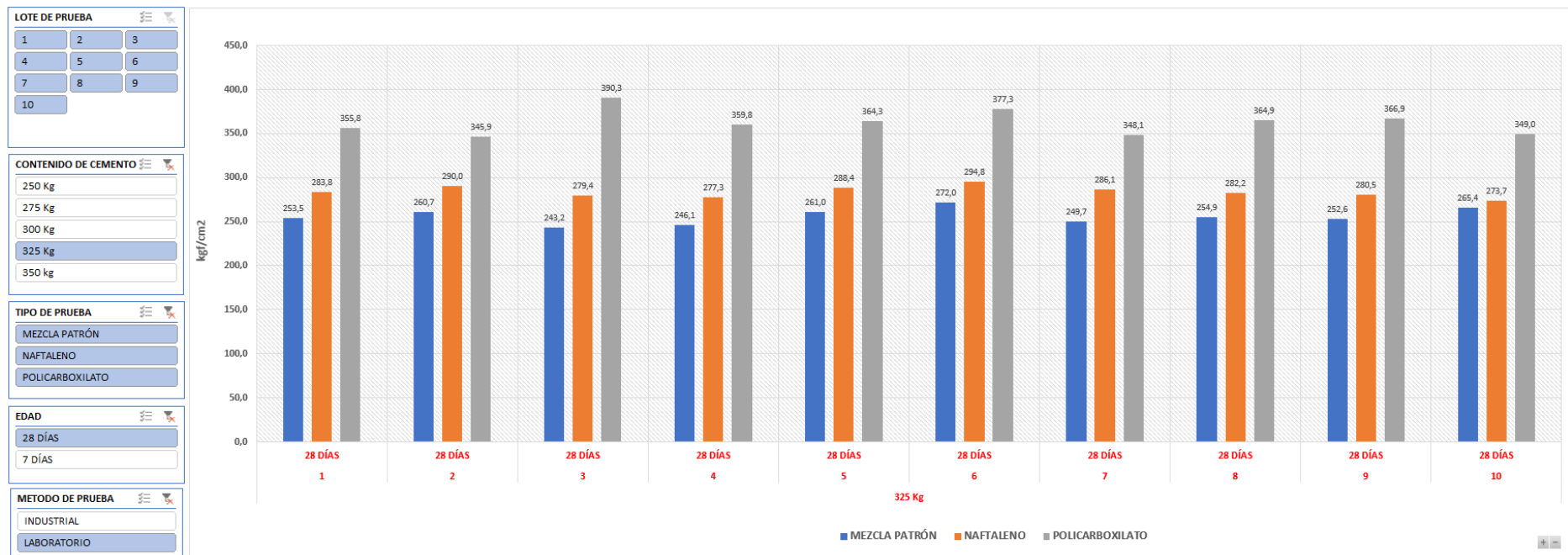
### ANEXO: 3- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN DE LABORATORIO, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 275 kg/m3 DE CEMENTO



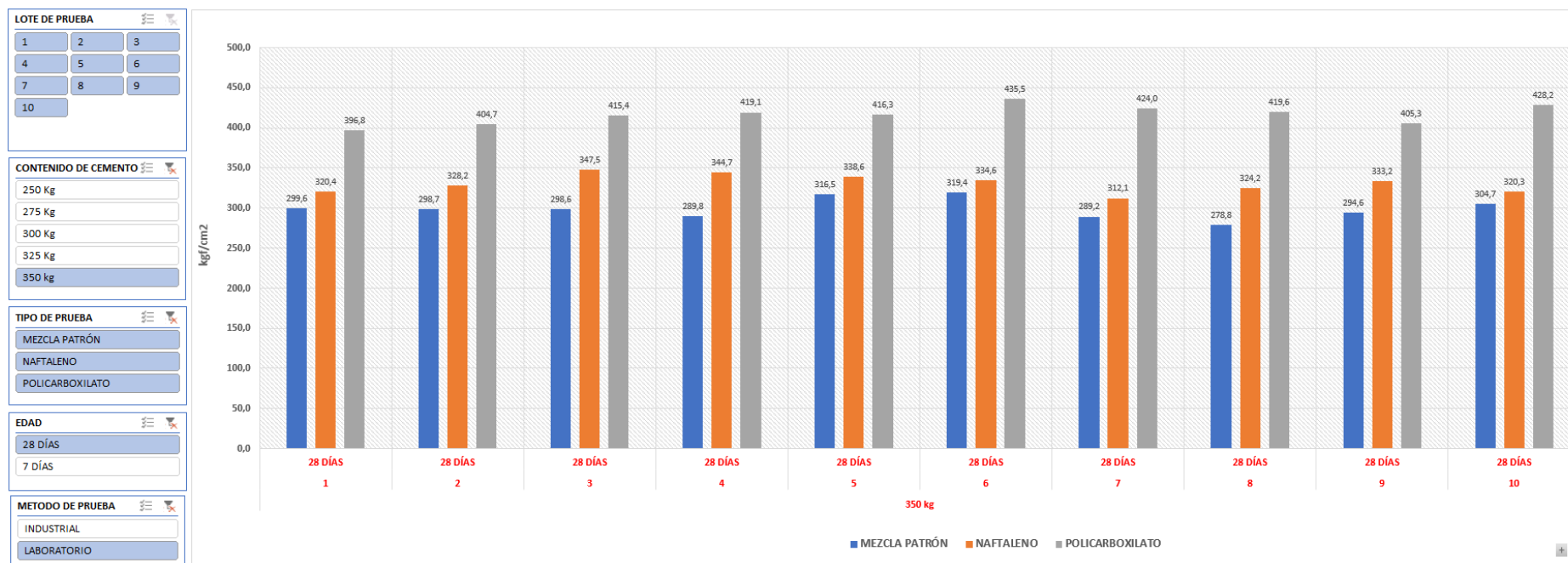
## ANEXO: 4- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN DE LABORATORIO, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 300 kg/m3 DE CEMENTO



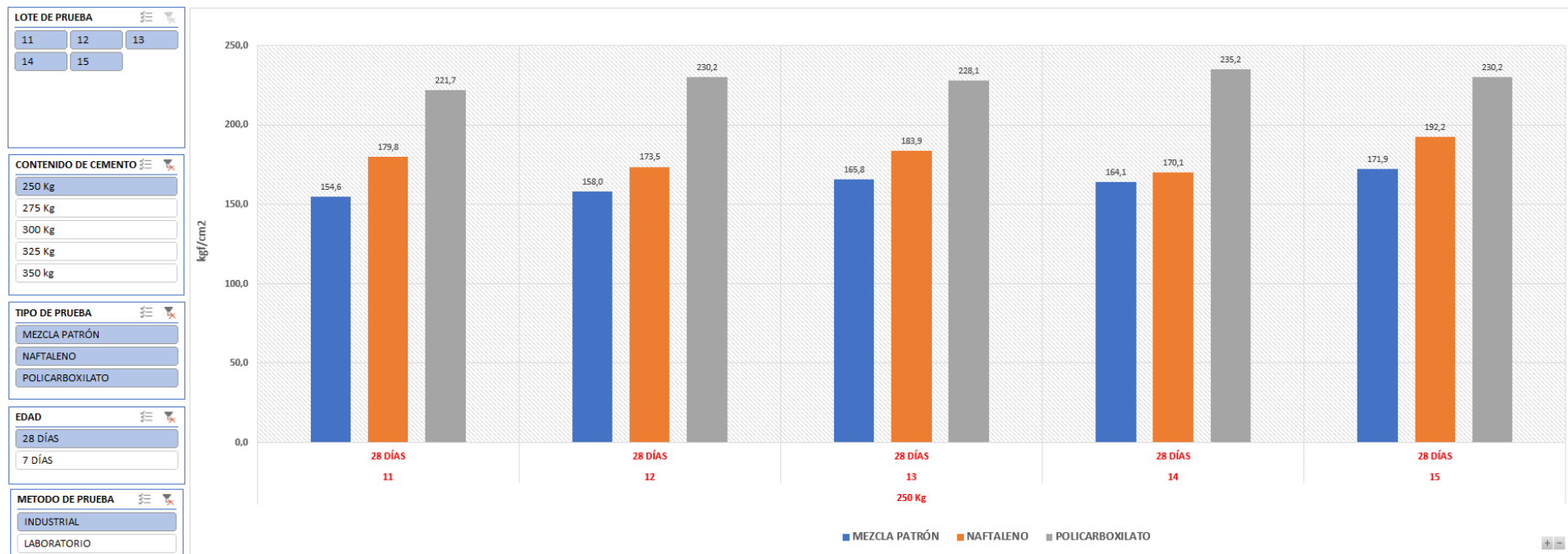
## ANEXO: 5- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN DE LABORATORIO, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 325 kg/m3 DE CEMENTO



## ANEXO: 6- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN DE LABORATORIO, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 350 kg/m<sup>3</sup> DE CEMENTO

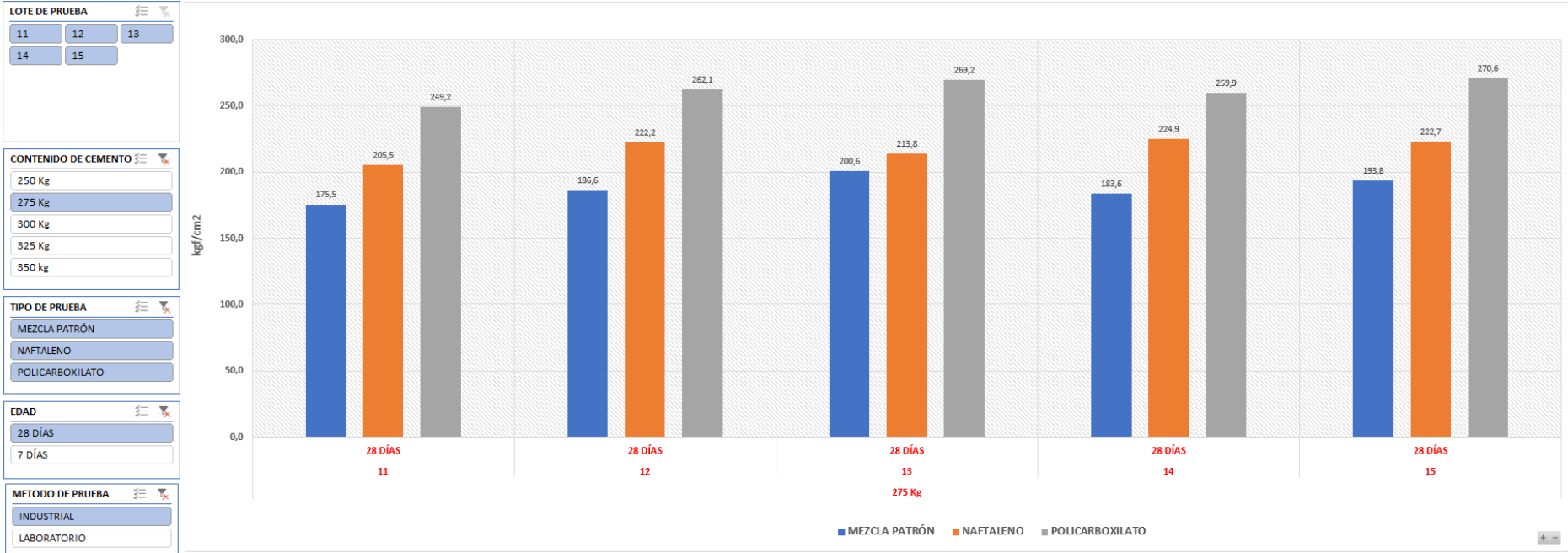


ANEXO: 7- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 250 kg/m<sup>3</sup> DE CEMENTO

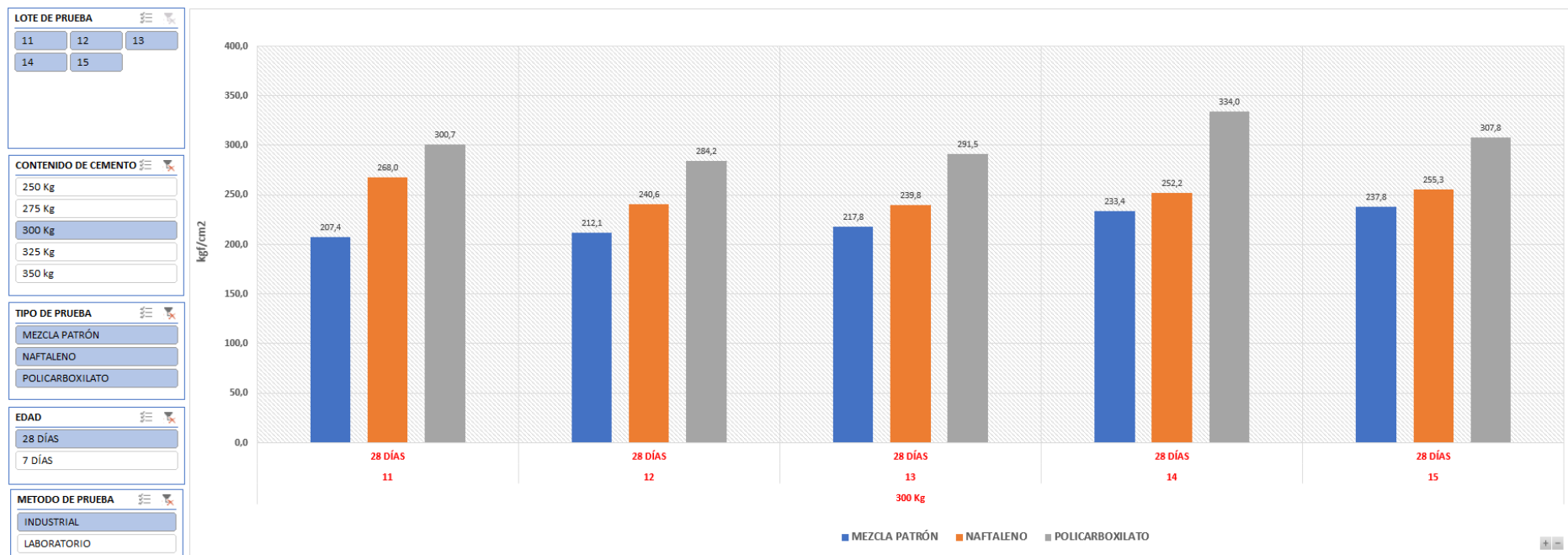




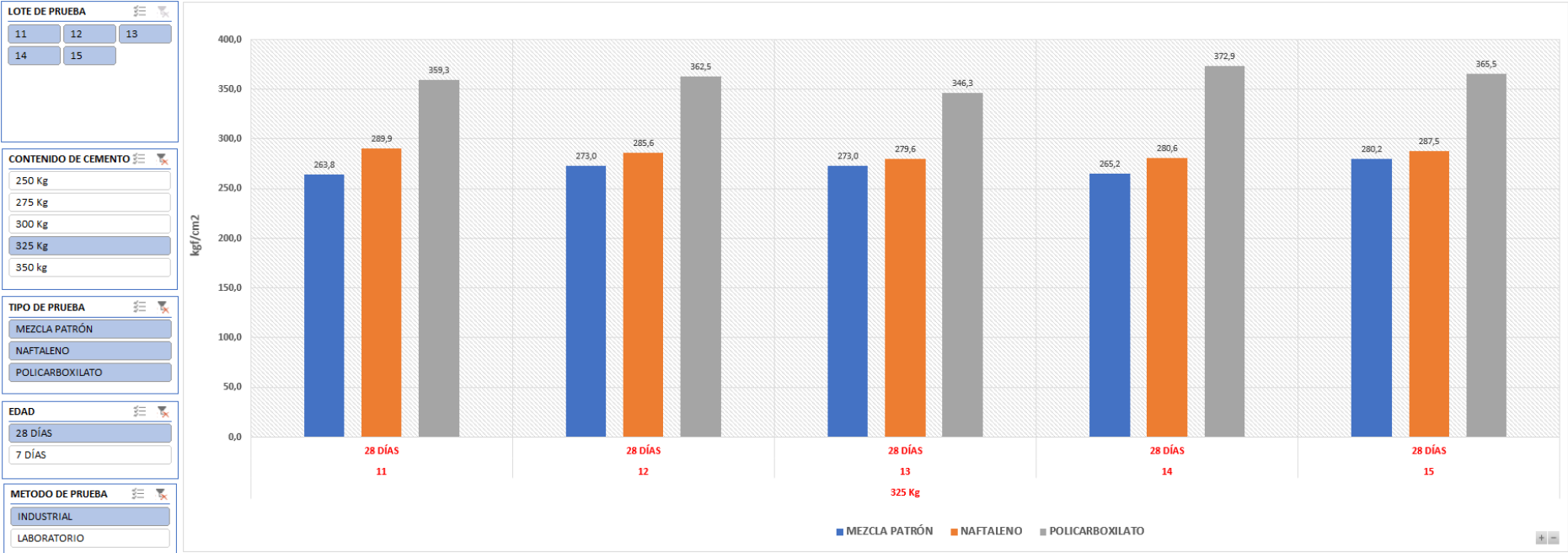
ANEXO: 8- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 275 kg/m<sup>3</sup> DE CEMENTO



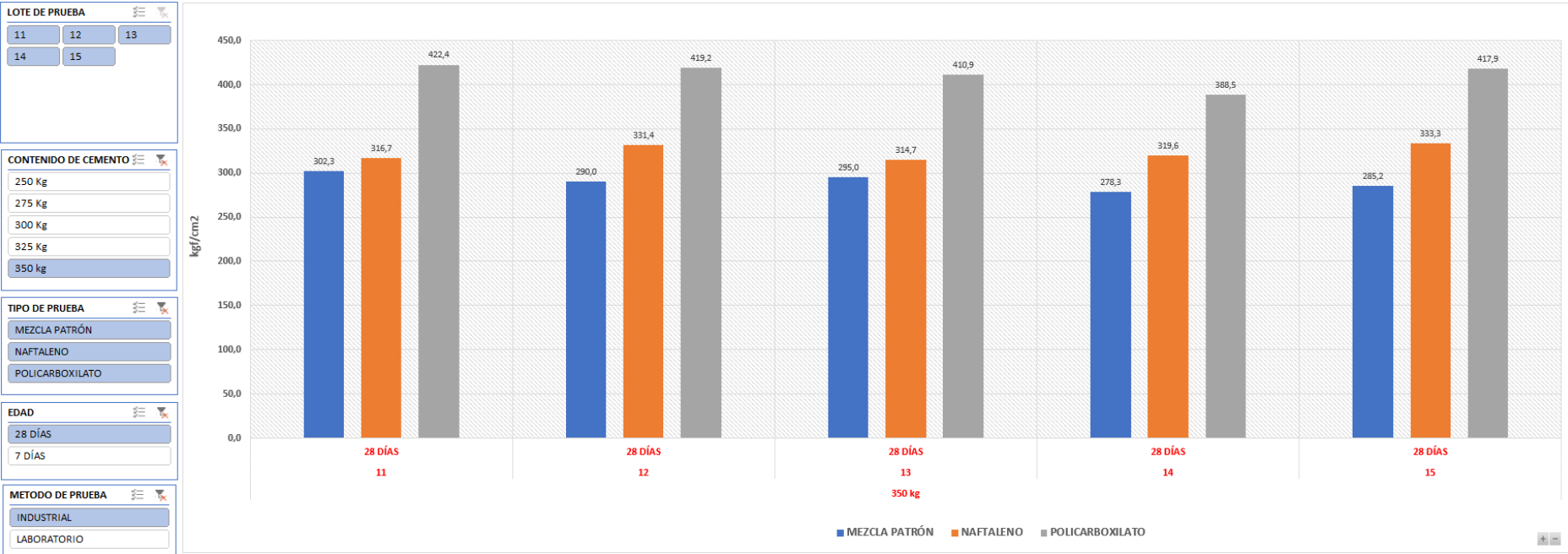
ANEXO: 9- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 300 kg/m<sup>3</sup> DE CEMENTO



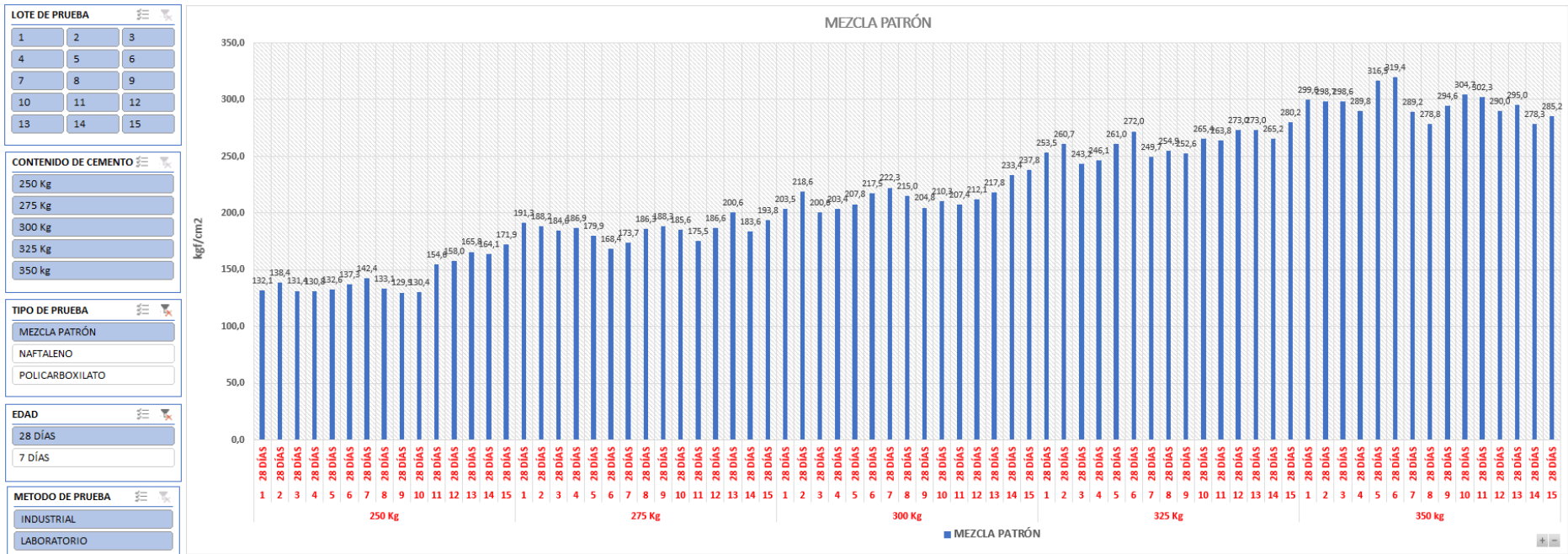
ANEXO: 10- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 325 kg/m<sup>3</sup> DE CEMENTO



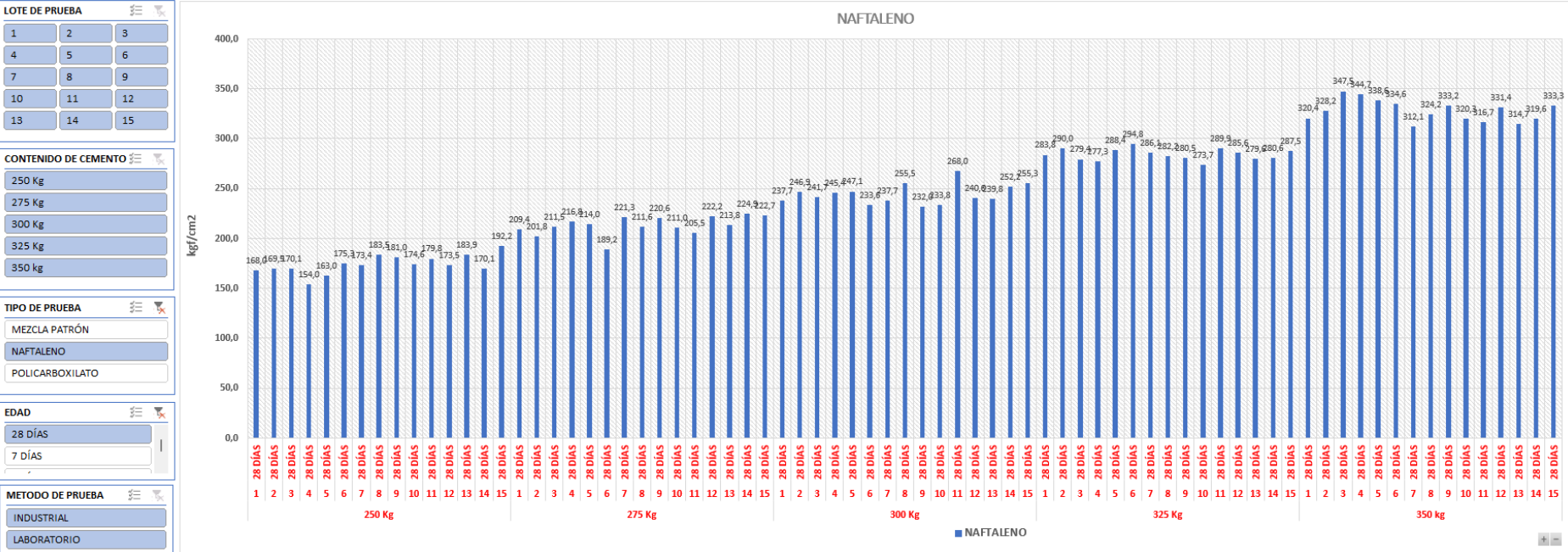
ANEXO: 11- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN INDUSTRIAL, NAFTALENOS Y POLICARBOXILATOS CON 350 kg/m<sup>3</sup> DE CEMENTO



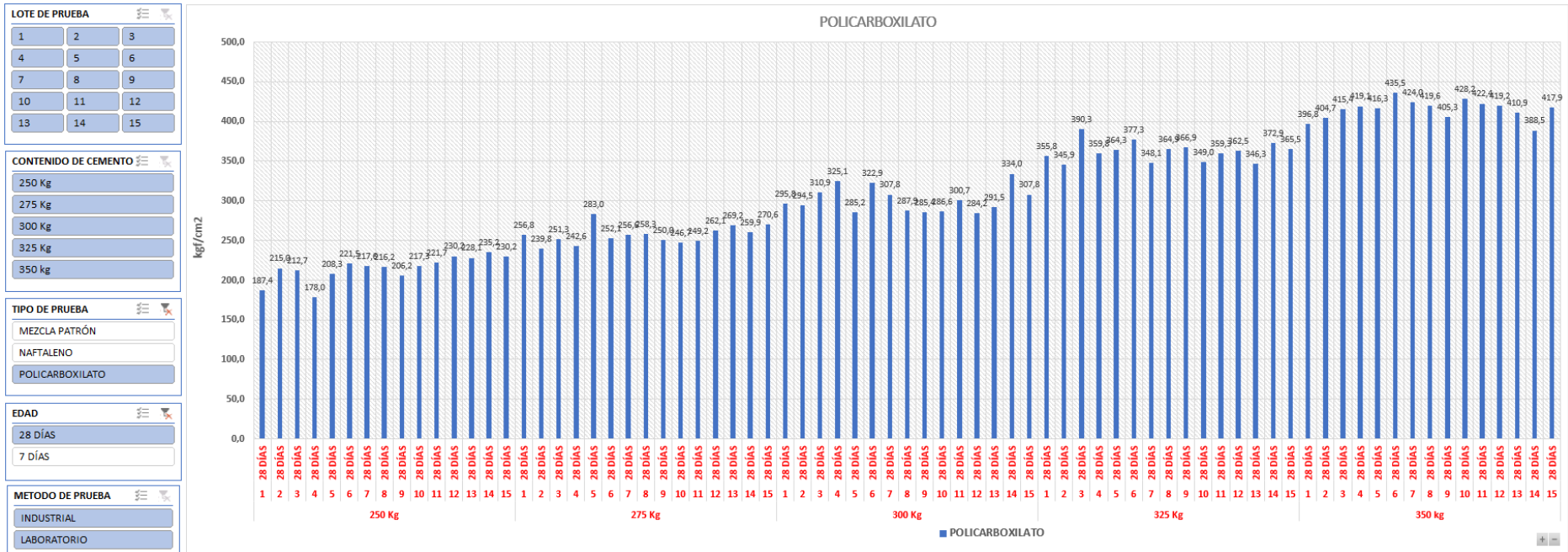
## ANEXO: 12- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA PATRÓN DE TODOS LOS LOTES



ANEXO: 13- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA CON NAFTALENOS TODOS LOS LOTES



## ANEXO: 14- RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE LA MEZCLA CON POLICARBOXILATOS TODOS LOS LOTES





ANEXO: 15- TOMA DE MUESTRA DE PRUEBA INDUSTRIAL DE UN MIXER.





ANEXO: 16- ORGANIZACIÓN DE CILINDROS (PROBETAS EN LA PISCINA DE CURA).



ANEXO: 17- RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN.





ANEXO: 18- ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CINLINDRICAS.



ANEXO: 19- EJEMPLO DE REGUSTRO MANUAL.

| # cilindro | Φ1(mm) | Φ2(mm) | Φ3(mm) | L1(mm) | L2(mm) | L3(mm) | Masa (g) |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1          | 102,12 | 102,1  | 101,71 | 200,41 | 200,4  | 200,5  | 3741     |
| 2          | 101,18 | 99,7   | 100,82 | 200,2  | 200,3  | 200,5  | 3608     |
| 3          | 102,81 | 101,74 | 102,82 | 200,5  | 200,6  | 200,5  | 3613     |
| 4          | 101,43 | 100,58 | 101,19 | 200,2  | 200,4  | 200,3  | 3701     |
| 5          | 102,11 | 101,72 | 101,77 | 200,3  | 200,2  | 200,3  | 3769     |
| 6          | 102    | 101,99 | 102,77 | 200,6  | 200,6  | 200,3  | 3628     |
| 7          | 99,55  | 99,45  | 100,34 | 200,4  | 200,6  | 200,8  | 3557     |
| 8          | 99,19  | 99,24  | 99,6   | 200,3  | 200,2  | 200,4  | 3724     |
| 9          | 101,76 | 101,83 | 101,79 | 200,6  | 200,4  | 200,3  | 3768     |
| 10         | 101,97 | 101,61 | 102,57 | 200,4  | 200,3  | 200,3  | 3762     |
| 11         | 102,01 | 102,51 | 102,83 | 200,3  | 200,6  | 200,4  | 3764     |
| 12         | 101,39 | 102,81 | 101,68 | 200,3  | 20,5   | 200,4  | 3760     |
| 13         | 101,76 | 102,15 | 101,45 | 200,2  | 200,3  | 200,4  | 3715     |
| 14         | 101,85 | 102,14 | 102,23 | 200,1  | 200,2  | 200,4  | 3701     |
| 15         | 101,85 | 102,45 | 102,24 | 200,2  | 200,2  | 200,1  | 3706     |
| 16         | 101,48 | 102,51 | 101,84 | 200,2  | 200,5  | 200,2  | 3703     |
| 17         | 101,87 | 101,94 | 102,29 | 200,2  | 200,5  | 200,1  | 3714     |
| 18         | 101,24 | 102,36 | 102,17 | 200,4  | 200,5  | 200,3  | 3700     |
| 19         | 102,09 | 102,07 | 102,23 | 200,2  | 200,2  | 200,2  | 3717     |
| 20         | 101,55 | 102,55 | 101,51 | 200,2  | 200,2  | 200,3  | 3716     |
| 21         | 102,19 | 101,45 | 102,26 | 200,4  | 200,3  | 200,4  | 3708     |
| 22         | 102,07 | 102,29 | 102,41 | 200,4  | 200,2  | 200,2  | 3698     |
| 23         | 100,17 | 100,76 | 100,77 | 200,3  | 200,2  | 200,1  | 3561     |
| 24         | 100,05 | 99,76  | 100,13 | 200,3  | 200,4  | 200,5  | 3575     |
| 25         | 100,07 | 100,27 | 100,31 | 200,3  | 200,5  | 200,3  | 3589     |
| 26         | 101,81 | 101,67 | 101,96 | 200,4  | 200,5  | 200,4  | 3671     |
| 27         | 100,55 | 100,17 | 100,58 | 200,3  | 200,5  | 200,2  | 3563     |
| 28         | 100,68 | 101,87 | 101,55 | 200,2  | 200,2  | 200,4  | 3679     |
| 29         | 100,58 | 101,71 | 100,61 | 200,3  | 200,3  | 200,4  | 3655     |
| 30         | 101,92 | 102,7  | 101,41 | 200,1  | 200,2  | 200,3  | 3676     |