

**Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento  
en la fabricación del concreto**

Investigador

Pedro Antonio Díaz Jiménez

Trabajo de grado para optar por el título

**CONSTRUCTOR EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA**

Director

Arq. Héctor Alba Pulido

Universidad Santo Tomás  
Construcción Arquitectura e Ingeniería  
Tunja  
Febrero 2020

Copyright © 2020 por Pedro Antonio Díaz Jiménez. Todos los derechos reservados.

## **Presentación**

Señores miembros del jurado:

De conformidad y cumpliendo a las opciones de grado estipulado por la universidad en el Reglamento para la obtención del título profesional en Construcción en Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Santo Tomás, pongo a su consideración el presente proyecto, titulado:

“Efectividad del uso de la ceniza de la Termo Paipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto”

El presente proyecto aplicado ha sido desarrollado durante el mes de marzo de 2019 hasta febrero de 2020, esperamos que el contenido de este estudio sea de su completa aceptación y sirva de referencia para proyectos posteriores o investigaciones.

## **Nota de Aceptación**

El Director y los Jurados del trabajo de grado:

**Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto** realizado por: **Pedro Antonio Díaz Jiménez**. Una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación del mismo, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título en: Construcción en Arquitectura e Ingeniería.

---

**Héctor Alba Pulido**

**Firma del director de director de trabajo de grado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Tunja, Febrero de 2020



## **Dedicatoria**

A mi padre celestial que con la sabiduría, entendimiento y fuerzas que ha colocado en mí ha sido posible la culminación de este proceso de mi vida, a mía Madre que con cada palabra de ánimo despertó en mí las ganas y fuerza para continuar cada vez que se presentaron obstáculos. A cada instructor que con su dedicación tiempo, transmitieron su conocimiento los cuales me han ayudado para mi formación como profesional.

## **Agradecimientos**

Dándole la honra y la gloria a DIOS por la sabiduría, entendimiento, fuerzas y vigor que me ha dado para poder culminar esta etapa de mi vida donde todo ha sido gracias a él.

A mi familia, Mama. Hermana Suegros y Esposa que han sido la voz de aliento en los momentos difíciles y a cada uno que en medio de este camino me han ayudado y acompañado a recorrerlo.

A la empresa Holcim los cuales me han facilitado las herramientas para poder desarrollar este trabajo práctico, al profesor Héctor Alba Pulido gran tutor y guía en el desarrollo de este trabajo.

Mil Y Mil Gracias

## Resumen

En esta investigación se desarrolla un estudio de los concretos en los cuales se sustituyó el cemento por ceniza de la Termo Paipa (tercera unidad) los cuales son sometidos a ensayos de compresión en diferentes edades con el objetivo de evaluar su resistencia.

Se analiza la resistencia a compresión de concretos con sustitución de cemento por ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) en proporciones del 10%, 20%, 30%, con el fin de ver la reacción que tiene la ceniza en las diferentes edades 3, 7, 14, 28 días de curado.

Para el cálculo de los diferentes diseños de mezcla se utilizaron las diferentes Normas NTC, según su análisis, y material es de la región de Boyacá, estos materiales se caracterizan en un laboratorio certificado para tener un mejor análisis, se elaboran las muestras y se le hacen los diferentes ensayos para determinar: asentamiento, masa unitaria, contenido de aire, temperatura, manejabilidad y ensayos a compresión.

Se plantean las siguientes relaciones de agua-cemento 0.75, 0.65, 0.55, 0.45, y 0.35 donde el agua es una constante y el cemento se modifica. A estas relaciones se les sustituye el 10% 20% y 30% de cemento por ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) con el objetivo de ver su comportamiento, mediante la recopilación de datos y graficas de estos mismos, permitiendo algunas conclusiones interesantes y teniendo una alternativa del aprovechamiento de estas cenizas producto de combustión de carbón térmico que se da en el termo eléctrico así mismo aportando en las investigaciones de nuevos productos en el área de la construcción.

**Palabras claves.** Ceniza, Termopaipa, cemento, resistencia. Concreto.

## Abstract

This research a study of the concrete in which the cement was replaced by ash from Termopaipa (third unit) which are some compression tests at different ages with the objective of evaluating their resistance is developed.

The compressive strength of concrete is analyzed with the substitution of cement by ash from the TERMOPAIPA (third unit) in proportions of 10%, 20%, 30%, in order to see the reaction that ash has at different times 3, 7, 14, 28 days of cure.

For the calculation of the different mix designs, the different NTC Standards will be used, according to their analysis, and materials from the Boyacá region, these materials are characterized in a certified laboratory to have a better analysis, the samples are made and made the different tests to determine: settlement, unit mass, air content, temperature, manageability and compression tests.

The following water-cement ratios are raised 0.75, 0.65, 0.55, 0.45, and 0.35 where water is a constant and the cement is modified. These relationships are replaced with 10% 20% and 30% cement by ash from the TERMOPAIPA (third unit) with the aim of seeing their behavior, by collecting data and graphs of these, sometimes some interesting criticisms and having an alternative of the use of these ashes thermal combustion product that occurs in the electric heater also contributing to the research of new products in the area of constriction.

**Keywords.** Ash, Thermopaipa, cement, resistance. Concrete.

## Tabla de Contenido

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 1 Generalidades .....</b>                               | <b>2</b>  |
| 1.1. Hipótesis .....                                                | 2         |
| 1.2. Justificación.....                                             | 2         |
| 1.3. Planteamiento del problema .....                               | 3         |
| 1.4. Objetivos.....                                                 | 4         |
| 1.4.1. General .....                                                | 4         |
| 1.5.2. Específicos.....                                             | 4         |
| <b>Capitulo II Marco Teórico .....</b>                              | <b>5</b>  |
| 2.1. Referentes teóricos. ....                                      | 5         |
| 2.2. Referentes conceptuales .....                                  | 7         |
| 2.2.1. Ceniza volante .....                                         | 7         |
| 2.2.2. Concreto .....                                               | 9         |
| 2.2.3. Uso de la ceniza volante en la fabricación de concreto ..... | 11        |
| <b>Capitulo III Metodología.....</b>                                | <b>14</b> |
| 3.1. Tipo de investigación.....                                     | 14        |
| 3.2. Diseño de la investigación .....                               | 14        |
| 3.3. Muestra.....                                                   | 14        |
| 3.4. Metodología .....                                              | 14        |
| 3.4.1. Diseño de mezclas planteadas.....                            | 16        |
| 3.4.2. Ensayos de mezclas.....                                      | 17        |
| 3.4.3. Normas técnicas .....                                        | 17        |
| 3.4.4. Materiales.....                                              | 18        |
| 3.4.5. Equipos y Herramientas. ....                                 | 19        |
| 3.4.6. Análisis de gravas .....                                     | 19        |
| 3.4.7. Descripción y caracterización de materiales .....            | 21        |
| <b>Capitulo IV Pruebas y Resultados .....</b>                       | <b>28</b> |
| 4. 1. Cálculo de la mezcla.....                                     | 28        |
| 4.1.1. Calculo de mezcla (264kg) al 0.75 .....                      | 28        |
| 4.1.2. Calculo de mezcla (305kg) al 0.65 .....                      | 33        |
| 4.1.3. Calculo de mezcla (360kg) al 0.55 .....                      | 39        |
| 4.1.4. Calculo de mezcla (440kg) al 0.45 .....                      | 45        |
| 4.1.5. Calculo de mezcla (440kg) al 0.45 .....                      | 50        |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2. Masa Unitaria en Concretos .....                                  | 56 |
| 4.3. Contenido de aire en concretos .....                              | 56 |
| 4.4. Asentamiento “Manejabilidad” .....                                | 57 |
| 4.5. Fallos obtenidos a compresión .....                               | 58 |
| Capítulo V Conclusiones y recomendaciones .....                        | 82 |
| 5.1. Conclusiones .....                                                | 82 |
| 5.2. Recomendaciones .....                                             | 82 |
| Lista de Referencias .....                                             | 84 |
| Apéndice A: Caso práctico. ....                                        | 86 |
| Apéndice B: Materiales utilizados en el proceso de Investigación ..... | 87 |
| Glosario.....                                                          | 92 |

## Lista de tablas

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>tabla 1</i> Normas Ntc Implementada En La Elaboración Del Proyecto .....                     | 17 |
| <i>Tabla 2</i> Materiales Utilizados Y Proveedores .....                                        | 18 |
| <i>Tabla 3</i> Herramientas Y Equipos Utilizados En La Elaboración De Pruebas De Concreto ..... | 19 |
| <i>Tabla 4</i> Granulometría Calizas Y Minerales Grava N°7, N°5. ....                           | 20 |
| <i>Tabla 5</i> Ensayos Complementarios Calizas Y Minerales Grava N°7, N°5 .....                 | 20 |
| <i>Tabla 6</i> Granulometría: Arena De Peña Cantera Premoar .....                               | 20 |
| <i>Tabla 7</i> Ensayos Complementarios De Arena Premoar .....                                   | 21 |
| <i>Tabla 8</i> Componentes De La Ceniza Termopaipa .....                                        | 21 |
| <i>Tabla 9</i> Ejecución De La Mezcla (264kg) Relación Agua-Cemento .....                       | 28 |
| <i>Tabla 10</i> Humedad De La Mezcla (264 Kg) 0.75 Relación Agua-Cemento .....                  | 29 |
| <i>Tabla 11</i> Mezcla 0.75 Relación Agua Cemento Con 10% De Ceniza .....                       | 29 |
| <i>Tabla 12</i> Humedad Mezcla 0.75 Con 10% De Ceniza .....                                     | 30 |
| <i>Tabla 13</i> Mezcla 0.75 Relación Agua Cemento Con 20% De Ceniza .....                       | 30 |
| <i>Tabla 14</i> Humedad Mezcla 0.75 Con 20% De Ceniza .....                                     | 31 |
| <i>Tabla 15</i> Mezcla (264kg) 0.75 Relación Agua Cemento Con 30% De Ceniza.....                | 31 |
| <i>Tabla 16</i> Humedad Mezcla 0.75 Con 30% De Ceniza .....                                     | 31 |
| <i>Tabla 17</i> Ejecución De La Mezcla (305kg) Relación Agua-Cemento .....                      | 34 |
| <i>Tabla 18</i> Humedad De La Mezcla (305kg) Relación Agua-Cemento.....                         | 34 |
| <i>Tabla 19</i> Mezcla 0.65 Relación Agua Cemento Con 10% De Ceniza .....                       | 35 |
| <i>Tabla 20</i> Humedad Mezcla 0.65 Con 10% De Ceniza .....                                     | 35 |
| <i>Tabla 21</i> Mezcla 0.65 Relación Agua Cemento Con 20% De Ceniza .....                       | 36 |
| <i>Tabla 22</i> Humedad Mezcla 0.65 Con 20% De Ceniza .....                                     | 36 |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 23 Mezcla 0.65 Relación Agua Cemento Con 30% De Ceniza .....</i>         | <i>37</i> |
| <i>Tabla 24 Humedad Mezcla 0.65 Con 30% De Ceniza .....</i>                       | <i>37</i> |
| <i>Tabla 25 Mezcla (360kg) 0.55 Relación Agua Cemento.....</i>                    | <i>39</i> |
| <i>Tabla 26 Humedad Mezcla 0.55.....</i>                                          | <i>40</i> |
| <i>Tabla 27 Mezcla (360kg) 0.55 Relación Agua Cemento Con 10% De Ceniza .....</i> | <i>40</i> |
| <i>Tabla 28 Humedad Mezcla 0.55 Con 10% De Ceniza .....</i>                       | <i>41</i> |
| <i>Tabla 29 Mezcla (360kg) 0.55 Relación Agua Cemento Con 20% De Ceniza .....</i> | <i>41</i> |
| <i>Tabla 30 Humedad Mezcla 0.55 Con 20% De Ceniza .....</i>                       | <i>42</i> |
| <i>Tabla 31 Mezcla (360kg) 0.55 Relación Agua Cemento Con 30% De Ceniza .....</i> | <i>42</i> |
| <i>Tabla 32 Humedad Mezcla 0.55 Con 30% De Ceniza.....</i>                        | <i>43</i> |
| <i>Tabla 33 Mezcla (440kg) 0.45 Relación Agua Cemento.....</i>                    | <i>45</i> |
| <i>Tabla 34 Humedad Mezcla 0.45.....</i>                                          | <i>45</i> |
| <i>Tabla 35 Mezcla (440kg) 0.45 Relación Agua Cemento Con 10% De Ceniza.....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Tabla 36 Humedad Mezcla 0.45 Con 10% De Ceniza .....</i>                       | <i>46</i> |
| <i>Tabla 37 Mezcla (440kg) 0.45 Relación Agua Cemento Con 20% De Ceniza .....</i> | <i>47</i> |
| <i>Tabla 38 Humedad Mezcla 0.45 Con 20% De Ceniza.....</i>                        | <i>47</i> |
| <i>Tabla 39 Mezcla (440kg) 0.45 Relación Agua Cemento Con 30% De Ceniza .....</i> | <i>48</i> |
| <i>Tabla 40 Humedad Mezcla 0.45 Con 30% De Ceniza .....</i>                       | <i>48</i> |
| <i>Tabla 41 Mezcla (566kg) 0.35 Relación Agua Cemento.....</i>                    | <i>51</i> |
| <i>Tabla 42 Humedad Mezcla 0.35.....</i>                                          | <i>51</i> |
| <i>Tabla 43 Mezcla (566kg) 0.35 Relación Agua Cemento Con 10% De Ceniza .....</i> | <i>52</i> |
| <i>Tabla 44 Humedad Mezcla 0.35 Con 10% De Ceniza .....</i>                       | <i>52</i> |
| <i>Tabla 45mezcla (566kg) 0.35 Relación Agua Cemento Con 20% De Ceniza .....</i>  | <i>53</i> |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tabla 46</i> Humedad Mezcla 0.35 Con 20% De Ceniza .....                       | 53 |
| <i>Tabla 47</i> Mezcla (566kg) 0.35 Relación Agua Cemento Con 30% De Ceniza ..... | 54 |
| <i>Tabla 48</i> Humedad Mezcla 0.35 Con 30% De Ceniza .....                       | 54 |
| <i>Tabla 49</i> Registro Fotográfico De Las Fallas Obtenidas A Compresión.....    | 58 |
| <i>Tabla 50</i> Cuadro De Costos Por M3 .....                                     | 86 |
| <i>Tabla 51</i> Materiales Utilizados En La Investigación.....                    | 87 |

## Lista de figuras

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1</i> Esquema de Producción de Cenizas Volantes ..... | 26 |
| <i>Figura 2</i> Componentes del Concreto .....                  | 27 |

## Lista de gráficos

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>gráfico 1</i> Muestra 0.75 Vs 10%,20% 30% .....                            | 32 |
| <i>Gráfico 2</i> Muestra 0.65 Vs 10%, 20%, 30% .....                          | 38 |
| <i>Gráfico 3</i> Muestra 0.55 Vs 10% 20% 30% .....                            | 43 |
| <i>Gráfico 4</i> Muestra 0.45 Vs 10%, 20%, 30% .....                          | 49 |
| <i>Gráfico 5</i> Muestra 0,35 Vs 10%, 20%, 30% .....                          | 55 |
| <i>Gráfico 6</i> Masa Unitaria.....                                           | 56 |
| <i>Gráfico 7</i> Contenido De Aire En Mezclas De Concreto .....               | 57 |
| <i>Gráfico 8</i> Asentamientos De Mezclas Con Sustitución 30% De Cemento..... | 58 |

## **Lista de Apéndices**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Apéndice A: Caso práctico.....                                        | 65 |
| Apéndice B: Materiales utilizados en el proceso de Investigación..... | 66 |
| Apéndice C: Glosario.....                                             | 71 |

## **Capítulo 1 Generalidades**

### **1.1. Hipótesis**

La utilización de la ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) como sustituto del cemento en la fabricación del concreto como opción innovadora del concreto tradicional disminuirá los efectos en las cargas ambientales, permitiría precios más accesibles y competitivos para el constructor.

### **1.2. Justificación**

El transcurrir de los años ha demostrado que todos los cambios son buenos y en especial en las herramientas que se usan para la mejora continua en los estilos de vida. El vivir y estar en un lugar cómodo, es una prioridad que las personas buscan construir priorizando la seguridad en el uso de los materiales que se implementan. De esta manera, se resalta que el cemento es uno de los principales materiales para la elaboración efectiva del concreto, el cual se cataloga como uno de los materiales más usados en las construcciones, además de poderse adaptar a diferentes moldes, figuras, grosores, entre otros. Pero buscando la sostenibilidad y la sustentabilidad del proceso, se busca resaltar la importancia que tiene el encontrar productos que logren resultados favorables para el constructor. Sustituyendo ceniza de la TERMOPAIPA por cemento que es una materia prima en la fabricación del concreto, aportando al medio ambiente, con una propuesta innovadora y creativa.

Aportando a la innovación y la creatividad en la elaboración de nuevos productos Por este motivo se busca dar a conocer la incorporación de ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) a cambio del cemento en la fabricación del concreto.

La innovación y la creatividad son herramientas que se incorporan rápidamente y fuertemente a los procesos de crecimiento empresarial, siendo este campo el idóneo para la creación de nuevas alternativas aporte al medio ambiente y aporte a la construcción, como profesional constructor en arquitectura e ingeniería.

### **1.3. Planteamiento del problema**

Es muy frecuente ver como el uso del concreto es esencial para los procesos de construcción de casas, edificios, centros comerciales, apartamentos, carreteras, puentes etc. Es así que grandes empresas como son las concretaras han comenzado a incorporar nuevos productos para potencializar el impacto positivo del concreto.

Durante las décadas de los ochenta y los noventa se comenzó a determinar que se debería dar comienzo a la creación de nuevos productos que logren remplazar al concreto, pero solamente hasta inicios del siglo XXI, se comenzaron a crear espacios de innovación, creatividad e innovación más sofisticados. De esta manera, los laboratorios que se usan al interior de las empresas creadoras de concretos son un factor de crecimiento paulatino.

La región de Boyacá ha demostrado una adaptabilidad al cambio en el uso de materias primas para las construcciones, como fueron el barro, la arcilla, mezclas entre tierras y plantas, entre otros, para llegar así a un concreto que en sus inicios era usado para actividades planas y poco innovadoras.

De acuerdo a lo anterior se puede preguntar ¿Qué tan eficiente es utilizar ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) en concretos, conservando su resistencia a compresión?

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. General***

Analizar a nivel de laboratorio el comportamiento del concreto, sustituyendo cemento por ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) en las diferentes proporciones 10%, 20%, y 30% mediante el ensayo de compresión

### ***1.5.2. Específicos***

1.5.2.1. Formular los diseños de mezcla de concreto los cuales se van a trabajar

1.5.2.2. Determinar la resistencia de las diferentes muestras planteadas mediante ensayo a compresión

1.5.2.3. Analizar la manejabilidad de las diferentes mezclas de concreto mediante ensayo de asentamiento

1.5.2.4. Elaborar cilindros de las diferentes mezclas de concreto para fallar a las diferentes edades 3, 7, 14, y 28 días de curación.

1.5.2.5. Determinar el contenido de aire de las diferentes mezclas planteadas

## Capítulo II Marco Teórico

### 2.1. Referentes teóricos.

La investigación sobre el uso de la ceniza volante en la fabricación de concreto es un tema relevante en el campo de la construcción y la ingeniería, dado que su uso representa un impacto directo a las propiedades del concreto, al problema de contaminación producido por el almacenamiento de las cenizas y a los costos de construcción. Distintos trabajos investigativos han analizado el comportamiento de las mezclas de concreto con aditivos de ceniza volante, por lo que estas sirven como un referente teórico conceptual de obligada referencia.

En primer lugar, se rescata el trabajo realizado por Santaella y Salamanca (2004) sobre el comportamiento del concreto con aditivos de ceniza volante extraída de la Termopaipa. Para los autores, la mejor dosificación de ceniza volante es del 10%, pues en esta proporción se encontró un efecto en la reducción de la masa de concreto fresco, lo que generó una mezcla mucho más liviana; además, se evidenció una mayor resistencia proporcional al paso del tiempo. Por la misma línea se encuentra el trabajo desarrollado por Agudelo y Espinosa (2017) sobre el efecto de la ceniza volante extraída de la Termopaipa en la resistencia a la compresión del concreto; los resultados extraídos por los autores tras la aplicación y análisis de la ceniza volante como aditivo en el concreto, coinciden con los expuesto por Santaella y Salamanca (2004), pues Agudelo y Espinosa (2017) también sostienen que la utilización de la ceniza volante en la mezcla de concreto, presenta resultados óptimos solo en un rango de porcentajes del 2% al 10% .

Tras un riguroso análisis del efecto de la ceniza volante sobre la fijación de cloruros en concretos, Fonseca (2016) llegó a la conclusión de que la eficacia de la ceniza volante como aditivo en la mezcla de concreto, depende no solo de los porcentajes de ceniza en la mezcla, sino de las características propias de la ceniza. Para el autor, el proceso de obtención y posterior

tratamiento de la ceniza, son clave en los efectos de ésta sobre las propiedades del concreto, lo que lo lleva a concluir que dadas la particularidades del contexto colombiano, en donde existe una falta de control en la producción y manejo de la ceniza, no se tienen las condiciones adecuadas para afirmar que la ceniza mejora las propiedades de durabilidad al ataque de iones cloruro.

Otro trabajo desarrollado con cenizas volantes extraídas de una termoeléctrica, es el realizado por Huaquisto y Quispe (2018) en una termoeléctrica de Perú, estas cenizas fueron analizadas en su función de aditivos en la mezcla de concreto como sustituto del cemento. Tras una experimentación que incluyó la adición de cenizas volantes en distintos porcentajes, los autores llegan a la misma conclusión que Santaella y Salamanca (2004) y Agudelo y Espinosa (2017) y es la de que “la ceniza volante se debe utilizar como sustitución al cemento en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad” (Huaquisto y Quispe, 2018, p.225).

Los resultados mencionados se corresponden con los adelantados por Gómez (2009) y Huaquisto (2015), quienes adelantaron estudios sobre los efectos de la ceniza volante en la fabricación del concreto, ambos autores coinciden con los resultados ya expuestos, por una parte reafirman la efectividad de la ceniza en aspectos como la durabilidad, trabajabilidad y resistencia del concreto y por otra, determinan que dicha efectividad sólo se alcanza con porcentajes mínimos de ceniza volante que no superen el 10%, los datos recolectado por Huaquisto (2015) así lo demuestran:

A los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221 kg/cm<sup>2</sup> tanto para concreto normal así como también para concreto con 2,5% de ceniza volante, 231 kg/cm<sup>2</sup> para el 5,0%, 200 kg/cm<sup>2</sup> para el 10,0% y 192 kg/cm<sup>2</sup> para el 15% de ceniza volante respectivamente. (p. 58)

Como se observa, las teorías e investigaciones desarrolladas en torno al uso de la ceniza volante como aditivo en el concreto, coinciden en la efectividad de esta mezcla bajo porcentajes específicos, por lo que, una exploración más amplia sobre el uso eficiente de la ceniza volante, permitiría delimitar mucho mejor sus usos y alcances y de esta forma contribuir a la generación de alternativas de uso para las cenizas resultantes de los procesos propios de las centrales termoeléctricas.

## **2.2. Referentes conceptuales**

Ahora bien, para entender el uso de la ceniza volante como material sustituto del cemento en la fabricación del concreto, es necesario hacer algunas precisiones conceptuales que permitan comprender mejor los efectos de esta sustitución, para esto, se retoman algunos de las definiciones expuestas en los trabajos de investigación que integran el marco referencial de esta investigación.

### **2.2.1. Ceniza volante**

Santaella y Salamanca (2004) en su artículo resultado de investigación sobre el análisis del comportamiento del concreto con porcentajes de ceniza volante, definen la ceniza volante a partir de lo enunciado por la normatividad española (norma UNE 83-415) así:

*“La ceniza volante es el producto sólido y en estado de fina división, procedente de la combustión de carbón pulverizado en los hogares de centrales térmicas, que es arrastrado por los gases del proceso y recuperado de ellos, en los filtros. (p. 2)”*

Por su parte, referenciando a la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), Fonseca (2016) dice sobre la ceniza volante que es el residuo finamente fraccionado que resulta

de la incineración de carbón pulverizado y que es trasladada por los gases de combustión y recogida por medio de precipitadores electrostáticos.

Atendiendo a su definición, se puede comprender que la ceniza volante es un subproducto resultante de los procesos de combustión llevados a cabo en diferentes plantas y empresas, es el caso de las termoeléctricas, en donde la ceniza volante se obtiene a partir de la quema del carbón empleado como combustible para la generación de energía eléctrica. Precisamente, respecto a la obtención de la ceniza, autores como Huaquisto y Quispe (2018), Agudelo y Espinosa (2017) y Huaquisto (2015), afirman que a pesar de ser un producto contaminante, la ceniza cuenta con una serie de propiedades que la convierten en un producto que puede funcionar como sustituto del cemento en el concreto después de ser obtenida de la quema del carbón utilizado como combustible en la generación de energía eléctrica, es considerada como un contaminante siendo beneficioso cuando es adicionada al concreto, en cantidades pequeñas, para mejorar su resistencia, ya que el aumento del contenido de cenizas del 15 al 35% no modifica significativamente el comportamiento mecánico del material.

Las diversas fuentes consultadas coinciden en que la ceniza volante puede representar un problema medioambiental, si no se diseña un mecanismo de recolección y utilización que evite su excesiva acumulación y por consiguiente la contaminación del aire y el medioambiente; además, también coinciden en que la utilización de ceniza como sustituto del cemento en el concreto, puede ayudar a combatir el problema ambiental, razón por la cual merece la pena seguir explorando los resultados que se obtienen del uso de la ceniza en la fabricación del concreto, para ello es fundamental tener en cuenta las características de la ceniza volante.

Sobre las propiedades específicas de las cenizas, Muñoz, King y Montenegro (s.f) aseguran que las características varían “según la composición del carbón, tipo y geometría de la

caldera donde se tiene lugar la combustión, el residuo de cenizas, el grado de pulverización y el tipo de colectores empleados” (p.5). En este sentido, los autores acuden a la clasificación formulada por la norma ASTM C618, según la cual existen cenizas *tipo F* y *tipo C*; siendo *tipo F* (*Silico-Aluminosilas*) “las producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y carbones bituminosos y cuya suma de óxidos ácidos es mayor del 70%” (p.5), y *tipo C* (*Sulfo-Cálcicas*) “las producidas normalmente a partir de la combustión de lignitos y carbones subbituminosos y cuya suma de óxidos ácidos es mayor del 50%” (p.5). Además, según los mencionados autores, existe otro tipo de ceniza que corresponde a un nivel intermedio entre las *tipo F* y *C*, se trata de las cenizas Silico-Cálcicas. Esta misma clasificación la desarrollan Fonseca (2016) y Gómez (2009) en sus trabajos de investigación.

Autores como Fonseca (2016), Muñoz et al. (s.f.), Gómez (2009) y Agudelo y Espinosa (2017), señalan otro tipo de características de la ceniza volante, tales como su tamaño variable cuyo diámetro oscila entre 1 mm y 150 mm y su forma irregular aunque generalmente esférica. Resaltan también que las propiedades químicas de las cenizas dependen del tipo de carbón del que provienen y que su color se ubica en la escala de los grises, siendo de color negro las cenizas con más altos contenidos de carbón y de color gris claro las que poseen un alto contenido de cal.

### **2.2.2. Concreto**

Sobre la definición del concreto, Huaquisto (2015) ofrece la siguiente: “el concreto es un material artificial compuesto por una mezcla adecuada dosificada de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades resistentes (p.21). Por su parte, Agudelo y Espinosa (2017) definen concreto como:

*“Uno de los materiales más utilizados para la construcción, tanto para el desarrollo urbano como para la infraestructura de un país, constituido por diferentes*

*materiales como agua, cemento, agregados, que dosificados y mezclados adecuadamente, se integran para formar elementos monolíticos que proporcionen resistencia y durabilidad en las estructuras. (p.28) ”*

El concreto se caracteriza por ser un material ampliamente usado en construcción dada su resistencia y durabilidad, en su condición de concreto fresco, es apenas una mezcla maleable y homogénea, compuesta por distintos agregados, que después de un tiempo, al secarse completamente, gana dureza y consistencia. Dentro de los componentes del concreto se encuentran:

- *El cemento, que es “un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, para obtener un polvo muy fino que en presencia de agua adquiere propiedades de endurecimiento, resistencia y adherencia” (Huaquisto y Quispe, 2018, p.228).*

- *Los agregados representan un porcentaje mayor al 70% de la mezcla y cumplen funciones importantes dentro de la misma, confieren textura y resistencia al concreto y garantizan la adherencia de la mezcla, además de actuar como controladores de los cambios volumétricos que ocurran durante el proceso de fraguado (Huaquisto, 2015)*

- *El agua que cumple la función de hidratar el cemento para que de esta manera se activen sus propiedades ligantes y de endurecimiento, además de ayudar a la manipulación y trabajabilidad del concreto.*

- *Los aditivos, que como mencionan Agudelo y Espinosa (2017), para el caso de Colombia, se rigen por la Norma Técnica Colombiana NTC-1299 y que se usan para generar una mayor versatilidad en el concreto, ya que pueden modificar algunas de sus características físicas y químicas.*

Según Niño (2010) afirma que dentro de los aditivos, los de carácter puzolánico, como la ceniza, mejoran la manipulación, resistencia y plasticidad, además de reducir la permeabilidad y sustituir de forma parcial al cemento.

### 2.2.3. *Uso de la ceniza volante en la fabricación de concreto*

Principalmente, las fuentes consultadas destacan la propiedad puzolánica de la ceniza, concretamente, Fonseca (2016) dice al respecto:

*“Una puzolana se define como un material silíceo o silicoaluminoso que por sí mismo posee una baja o nula capacidad cementante, pero que en presencia del agua, reacciona con el hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , a temperatura ordinaria, para formar compuestos que poseen capacidades cementantes. (p.31)”*

Esto quiere decir, que el carácter puzolánico de la ceniza la convierte en un elemento con las propiedades necesarias para la elaboración del concreto, como lo afirma Huaquisto (2015), para quien el uso de la ceniza como puzolana ha sido un tema ampliamente explorado en la elaboración del concreto; incluso, pero Gómez (2009) va más allá al demostrar que históricamente el uso de la puzolana se remonta a las civilizaciones antiguas desarrolladas en Egipto, Roma y Grecia, en donde hay evidencias del uso de puzolanas en cementos.

En cuanto a la utilización de la ceniza volante en la fabricación de concreto, Agudelo y Espinosa (2017) distinguen una serie de propiedades de la ceniza en el concreto, entre estas se destacan la trabajabilidad, pues dado que la ceniza produce un efecto de reducción en el agua de la mezcla, altera las propiedades del cemento fresco y hace que su manipulación varíe: “el concreto que contiene ceniza volante es engañoso, ya que al aumentar el porcentaje de ceniza en la mezcla hace que sea más difícil la manipulación y el porcentaje de agua disminuye notoriamente” (p.38). En cuanto a la durabilidad y la resistencia, los estudios y experimentos científicos apuntan a que por su propiedad puzolánica, esta ceniza es usada para obtener mayor durabilidad y resistencia; sin embargo, Agudelo y Espinosa (2017) advierten que “al igual que todos los demás componentes del concreto, la calidad de la ceniza volante debe ser conocida o especificada, a fin de predecir el comportamiento del concreto resultante” (p.39).

Por su parte, Adams et al. (s.f) distinguen dos posibles aplicaciones de la ceniza volante en la fabricación del concreto; por un lado, se puede utilizar como materia prima para la fabricación de Clinker Portland, componente principal del cemento tipo Portland, y por otro lado, se puede usar como aditivo puzolánico, en donde la ceniza mejora la calidad de la fase aglutinante cementosa y así aumenta la resistencia y la permeabilidad a largo plazo. No obstante, una vez más los autores insisten en que la función de la ceniza volante en el concreto está directamente relacionada con las propiedades específicas de la cenizas, propiedades que dependen del tipo y composición del carbón.

En cuanto a la influencia de la ceniza en las propiedades del concreto, Fonseca (2016) asegura que la variación en la cantidad o porcentaje de reemplazo de la ceniza volante, determina el grado de influencia en las propiedades del concreto, influencia que puede observarse tanto en las propiedades mecánicas del concreto (resistencia y durabilidad), como en la permeabilidad y carbonatación del mismo.

Finalmente, Huaquisto y Quispe (2018) destacan los beneficios en términos de productividad y costos, del uso de la ceniza en la fabricación del concreto, pues para los autores:

*“La adición de las cenizas al concreto reduce su costo, se utiliza menos cemento y se mejora algunas de sus propiedades como su trabajabilidad, durabilidad, densidad y sangrado, su impermeabilidad, su resistencia al ataque químico sobre todo de sulfatos y su resistencia a la compresión. (p. 227)”*

Además, resaltan los beneficios medioambientales del uso de la ceniza en la elaboración de concreto, pues los efectos medioambientales actuales demandan una solución eficaz para la correcta disposición y utilización de la ceniza, dado que como se dijo, la mala disposición puede ocasionar daños ambientales severos, por lo que la utilización de esta en el área de la

construcción, podría no sólo impactar a las propiedades específicas del concreto, sino a las condiciones medioambientales del entorno.

## **Capítulo III Metodología**

### **3.1. Tipo de investigación**

Descripción del proceso de Investigación: El proceso de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que analiza y describe los productos sustitutos del cemento como materia prima en la fabricación del concreto, puntualmente la ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad). Se realizará la aplicación de instrumentos de investigación, tales como entrevistas, tesis de consulta, NTC, concreteras web entre otros. Lo anterior para determinar la existencia de los productos sustitutos del concreto.

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es experimental, puesto que se estudiarán la efectividad del uso de la incorporación de la ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) como sustituto del cemento materia prima crucial en la fabricación del concreto, para posteriormente determinar su comportamiento a compresión.

### **3.3. Muestra**

Mezclas propuestas para determinar su comportamiento a compresión al sustituirle cemento por ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) como materia prima crucial en la fabricación del concreto.

### **3.4. Metodología**

Se inicia el proyecto con una investigación primaria donde se recopila datos del tema a tratar, obtención de información de las cenizas volantes y su uso como adición en mezclas de concreto; se elige la TERMOPAIPA (tercera unidad) Boyacá. Aspectos relevantes: Es una investigación que analizará la posible existencia del efectivo uso ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) como sustituto del cemento materia prima en la fabricación del concreto.

Después de tener la muestra de ceniza volante procedemos a realizar el diseños de mezcla y fundir los cilindros con los porcentajes planteados, en los laboratorios de la concretará HOLCIM S.A TUNJA la cual cuenta con certificación de calidad ISO 9001

Para la realización de estas pruebas se tienen en cuenta diferentes normas NTC las cuales rigen los diferentes análisis en la elaboración y producción de concretos

Esta investigación fue llevada a cabo para evaluar el comportamiento a compresión de concreto con sustituciones de ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) teniendo unas muestras patrón con diferentes cantidades de cemento y una constante de agua con el objetico de ver su comportamiento a compresión a las diferentes edades 3, 7, 14,28 días de curado.

Se plantean diseños de 0.75, 0.65, 0.55, 0.45 y 0.35 relación agua-cemento a estos mismas mezclas se sustituye el 10% 20% 30% de cemento por ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) los cuales se trabajan a nivel laboratorio con 30 y 35 litros de mezcla con pruebas como Asentamiento, (cada media hora) temperaturas, masa unitaria, contenido de aire, adicionalmente se toman 7 cilindros de (10 x20cm) los cuales se curan en una piscina de agua con temperatura controlada, estos cilindros se fallan a compresión en las diferentes edades (3,7,14,28 días) con el fin de ver el comportamiento a compresión de estas muestras patrón vs sustitución de cemento por ceniza 10% 20% 30%.

En cumplimiento del objetivo propuesto se establece el siguiente plan de trabajo:

- Verificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.
- Revisión de la cuantía de ceniza en cada diseño de mezcla de acuerdo a los porcentajes planteados.
- Seguimiento en los tiempos de fallo a 3,7,14, y 28 días

### **3.4.1. Diseño de mezclas planteadas**

Se presenta el siguiente esquema de pruebas basado en los diseños formulados y se evaluó el desempeño en pruebas de mínimo 35 y 30 litros de mezcla de concreto:

Para las mezclas planteadas se desarrollaron las siguientes muestras en relación a agua y cemento:

- Muestra patrón 0.75 relación agua-cemento 0% de ceniza volante.
- Muestra 0.75 relación agua-cemento con una sustitución 10% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.75 relación agua-cemento con una sustitución 20% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.75 relación agua-cemento con una sustitución 30% de ceniza Termo Paipa
- Muestra patrón 0.65 relación agua-cemento 0% de ceniza volante.
- Muestra 0.65 relación agua-cemento con una sustitución 10% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.65 relación agua-cemento con una sustitución 20% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.65 relación agua-cemento con una sustitución 30% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra patrón 0.55 relación agua-cemento 0% de ceniza volante.
- Muestra 0.55 relación agua-cemento con una sustitución 10% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.55 relación agua-cemento con una sustitución 20% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.55 relación agua-cemento con una sustitución 30% de ceniza Termo Paipa
- Muestra patrón 0.45 relación agua-cemento 0% de ceniza volante.
- Muestra 0.45 relación agua-cemento con una sustitución 10% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.45 relación agua-cemento con una sustitución 20% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.45 relación agua-cemento con una sustitución 30% de ceniza Termo Paipa
- Muestra patrón 0.35 relación agua-cemento 0% de ceniza volante.
- Muestra 0.35 relación agua-cemento con una sustitución 10% de ceniza Termo Paipa.

- Muestra 0.35 relación agua-cemento con una sustitución 20% de ceniza Termo Paipa.
- Muestra 0.35 relación agua-cemento con una sustitución 30% de ceniza Termo Paipa

### **3.4.2. Ensayos de mezclas**

Estas mezclas anteriormente trabajadas se les realiza los diferentes ensayos de:

- Asentamiento ( Manejabilidad)
- Control de temperaturas
- Siete cilindros de 10\*20Cm en cada muestra
- Masa unitaria
- Contenido de aire

A partir de la fecha de fundidos los especímenes se inicia el conteo de los días de falla (3, 7, 14 y 28 días) dos cilindros por fecha programada excepto a los 28 días edad especifica se fallaran 3 por muestra.

*Nota:* si el día de fallos de los cilindros corresponde un domingo o festivo se reprograma a 14 días.

Al finalizar las pruebas de laboratorio; con la recopilación de datos que se obtuvo se inicia la elaboración del análisis con los informes graficas tablas, de lo que fue el resultado de la incorporación de ceniza de la TERMO PAIPA (tercera unidad) como parte de la adición en el concreto.

### **3.4.3. Normas técnicas**

Las pruebas de las mezclas anteriormente mencionadas fueron trabajadas bajo la normatividad técnica de calidad:

*Tabla 1* Normas NTC implementada en la elaboración del proyecto

| <b>Norma</b> | <b>Nombre o título de la norma</b> |
|--------------|------------------------------------|
|--------------|------------------------------------|

|          |                                                                                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NTC 454  | Toma de muestras en concreto fresco                                                                                                 |
| NTC 1299 | Aditivos químicos para concreto                                                                                                     |
| NTC 1377 | Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio                                                          |
| NTC 396  | Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto                                                                       |
| NTC 504  | Refrendado de especímenes de cilindros de concreto                                                                                  |
| NTC 673  | Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto                                                             |
| NTC 3493 | Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento pórtland. |
| NTC 1032 | Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión.                              |
| NTC 3459 | Agua para la elaboración de concreto.                                                                                               |
| NTC 174  | Especificaciones de los agregados para concreto.                                                                                    |

Fuente NTC (ICONTC)

#### 3.4.4. Materiales

Los materiales necesarios para el desarrollo de las mezclas y sus diferentes combinaciones fueron:

*Tabla 2* Materiales utilizados y proveedores

| Material                 | Proveedor                                    |
|--------------------------|----------------------------------------------|
| Grava N°7 media pulgadas | Mina la Calizas y Minerales Moniquirá Boyacá |
| Grava N°5 una pulgada    | Mina la Calizas y Minerales Moniquirá Boyacá |
| Arena lavada             | Premoar Mina en Sogamoso Boyacá              |

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Cemento ART                          | Planta cemento Holcim               |
| Ceniza                               | Termo Paipa, Termo Eléctrica Boyacá |
| Aditivo plastificante (plastol 8000) | Toxement                            |
| Aditivo retardante (retarder 150)    | Toxement                            |
| Agua potable                         | Acueducto Tunja Boyacá ( veolia)    |

Fuente propia

### **3.4.5. Equipos y Herramientas.**

Los equipos y herramientas para la mezcla adecuada son los siguientes:

*Tabla 3* Herramientas y equipos utilizados en la elaboración de pruebas de concreto

| <b>Equipos</b>                    | <b>Herramientas</b>          |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Termómetro                        | Varillas                     |
| Fluxómetro                        | Chipote (martillo se caucho) |
| Piscina de curado                 | Carretilla                   |
| Prensa de fallos                  | Palustre                     |
| Balanza electrónica               | Balde                        |
| Trompo mezclador                  |                              |
| Camisas (moldes de cilindros)     |                              |
| Cono de asentamiento              |                              |
| Olla de contenido y masa unitaria |                              |

Fuente propia

### **3.4.6. Análisis de gravas**

Se hizo un análisis de gravas y ensayos complementarios a las calizas y minerales grava N° 7 y 5, granulometría a la arena y algunos ensayos complementarios en el laboratorio certificado Concrelab arrojando los siguientes resultados:

Tabla 4 Granulometría calizas y minerales grava n°7, n°5.

|                                     | Grava No. 5 | Grava No. 7 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
|                                     |             |             |
| 2. Tamaño máximo mm:                | 38          | 19          |
| 3. Tamaño máximo nominal mm:        | 25          | 12,5        |
| 4. Pasa tamiz 0,075 mm (No. 200) %: | 0,4         | 0,6         |

Fuente: laboratorio concrelab

Tabla 5 Ensayos complementarios calizas y minerales grava n°7, n°5

|                                                                           | Grava No. 5 | Grava No. 7 |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                                           |             |             |
| 5. Absorción %:                                                           | 1,1         | 1,5         |
| 6. Densidad aparente g/cm <sup>3</sup> :                                  | 2,63        | 2,61        |
| 7. Densidad sss g/cm <sup>3</sup> :                                       | 2,66        | 2,65        |
| 8. Densidad nominal g/cm <sup>3</sup> :                                   | 2,71        | 2,71        |
| 9. Masa unitaria suelta sss kg/m <sup>3</sup> :                           | 1340        | 1380        |
| 10. Masa unitaria apisonada sss kg/m <sup>3</sup> :                       | 1530        | 1570        |
| 11. Vacíos en agregado suelto %:                                          | 49          | 47          |
| 12. Vacíos en agregado compacto %:                                        | 42          | 40          |
| 13. Desgaste en la máquina de los Ángeles a 500 revoluciones (en seco) %: | 22          | 24          |
| 14. Partículas deleznales %:                                              | 0,0         | 0,0         |
| 15. Partículas livianas %:                                                | 0,0         | 0,0         |
| 16. Índice de aplanamiento global %:                                      | 20          | 32          |
| 17. Índice de alargamiento global %:                                      | 25          | 36          |
| 18. Partículas con una o más caras fracturadas%:                          | 71          | 71          |
| 19. Partículas con dos o más caras fracturadas %:                         | 69          | 68          |
| 20. Solidez % de pérdida:                                                 | 1           | 2           |

Fuente:Análisis laboratorio Concrelab

Tabla 6 Granulometría: Arena de Peña Cantera Premoar

|                                                                 | Arena |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
|                                                                 |       |
| 2. Módulo de finura:                                            | 2,11  |
| 3. Pasa tamiz 0,075 mm (No. 200) %:                             | 7,9   |
| 4. Impurezas orgánicas en agregado fino (ensayo colorimétrico): | 1     |

Fuente: laboratorio concrelab

Tabla 7 Ensayos complementarios de arena Premoar

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
|                                                     | Arena |
|                                                     |       |
| 5. Absorción %:                                     | 0,6   |
| 6. Densidad aparente g/cm <sup>3</sup> :            | 2,60  |
| 7. Densidad sss g/cm <sup>3</sup> :                 | 2,61  |
| 8. Densidad nominal g/cm <sup>3</sup> :             | 2,64  |
| 9. Masa unitaria suelta sss kg/m <sup>3</sup> :     | 1550  |
| 10. Masa unitaria apisonada sss kg/m <sup>3</sup> : | 1740  |
| 11. Vacíos en agregado suelto %:                    | 40    |
| 12. Vacíos en agregado compacto %:                  | 33    |
| 13. Equivalente de arena %:                         | 48    |
| 14. Partículas deleznales %:                        | 0,1   |
| 15. Partículas livianas %:                          | 0,2   |
| 16. Solidez % de perdida:                           | 4     |

Fuente: Análisis laboratorio Concrelab

Tabla 8 Componentes de la ceniza Termopaipa

| COMPOSICIÓN QUÍMICA |                                  |                                  |       |                                                        |                   |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------|--------------------------------------------------------|-------------------|
| % SiO <sub>2</sub>  | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % CaO | Álcalis disponible reportados como % Na <sub>2</sub> O | % SO <sub>3</sub> |
| 48,67               | 26,62                            | 5,2                              | 0,9   | 0,4                                                    | 1,0               |

Fuente: Hoja de seguridad de la ceniza

### 3.4.7. Descripción y caracterización de materiales

#### 3.4.7.1. Propiedades físicas y químicas de la ceniza de la Termopaipa:

- *Color:* gris/negro o Marrón
- *Estado Físico:* Polvo Solido
- *Olor:* Ninguno

- *Hidrosolubilidad*: Insignificante
- *PH*: No aplica
- *Presión de Vapor*: No Aplica
- *Densidad del Vapor*: No aplica
- *Viscosidad*: Ninguna, solido
- *Temperatura de Ebullición*: No aplica

3.4.7.1.1. *Incompatibilidad*: La ceniza es incompatible con ácidos, sal amónica y metal alumínico. La ceniza y el cemento reaccionan con agua para formar silicatos e hidróxido cálcico. Los silicatos reaccionan con oxidantes potentes como flúor, trifluoruro de boro, de cloro, de manganeso y difluoruro de oxígeno.

*Fuente*: Ficha técnica de la ceniza

### 3.4.7.2. *Caracterización De Aditivos*

#### 3.4.7.2.1. *Aditivo Eucon Retarder 150 retardante y reductor de agua*

**a. Descripción**: Es un aditivo líquido, reductor de agua, de prolongado tiempo de manejabilidad para concreto.

Está formulado para dar un óptimo desempeño en concretos que requieren reducir agua o que van a ser trabajados en ambientes de mediana a alta temperatura.

No contiene cloruro de calcio y otros materiales con potencial de oxidación.

Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-494 como Tipo B y D.

**b. Información Técnica**: Apariencia: Líquido de baja viscosidad - Color: Café - Densidad: 1.15 kg/l +/- 0.02 kg/l

**c. Usos**: Concreto de uso general y/o concreto arquitectónico. -Concreto que requiere un fraguado prolongado y mayor tiempo de manejabilidad. - Aplicaciones de concreto en clima

cálido e intermedio donde se requiera largo tiempo para su colocación. - Concretos lanzados. - Concretos masivos.

Fuente: ficha técnica de toxement

#### **d. Ventajas**

- Incrementa la trabajabilidad.
- Reduce el requerimiento de agua.
- Reduce la segregación.
- Es compatible con otros aditivos.
- Permite reducción de agua mayor al 10%.
- Incrementa el desarrollo de resistencias mecánicas.
- Fraguado retardado en las dosis recomendadas.

**e. Dosificación:** EUCON RETARDER 150 se dosifica entre el 0.1% y el 0.6% del peso del cemento, es decir, de 87 ml a 522 ml por cada 100 kg de cemento, según la reducción de agua y retardo requerido.

Dado que la dosis del aditivo depende de las características de los materiales que se usen en el diseño, así como de la temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

**f. Aplicación:** EUCON RETARDER 150 debe ser adicionado preferiblemente al agua de amasado o al concreto antes de la colocación, no debe ser colocado al cemento seco o sobre otros aditivos hasta que éstos estén completamente incorporados en la mezcla.

Para asegurar la máxima eficacia se recomienda ampliar el tiempo de mezclado medio minuto más por cada metro cúbico de concreto.

EUCON RETARDER 150 puede ser dosificado con equipo automático para garantizar uniformidad en el trabajo.

#### *3.4.7.2.2. Plastol 8000 aditivo reductor de agua de alto rango*

**a. Descripción:** PLASTOL 8000 es un aditivo reductor de agua de alto rango, diseñado con policarboxilatos de última generación, que permite ofrecer buenos tiempos de trabajabilidad bajo condiciones de bajas relaciones agua / cemento y frente a concretos con contenidos altos de adición. Adicionalmente mantiene las características propias de los policarboxilatos, altas resistencias a la compresión y flexión a todas las edades. También brinda alta estabilidad en la matriz de las mezclas de alta fluidez, evitando fenómenos que se pueden presentar como el de la segregación.

Fuente: ficha técnica de toxement

PLASTOL 8000 no contiene cloruro u otros materiales con potencial de oxidación.

**b. Información Técnica:** Apariencia: Líquido Color: Café Densidad: 1.06 kg/l +/- 0.02 kg/l

**c. Usos:** Concreto de uso general o convencional. -Concretos lanzados. -Concretos de alto desempeño. -Concretos de alta plasticidad y manejabilidad. -Concreto de baja relación agua / cemento. -Concreto para prefabricado. -Concretos autoconsolidables. -Concretos bombeados. -Concretos masivos.

Fuente: ficha técnica de toxement

**d. Ventajas:**

- PLASTOL 8000 es un producto de mediana concentración, por eso puede ser usado a baja dosificación y se puede obtener reducción de agua del 10% al 15% y a altas dosificaciones se podrían obtener reducciones de agua hasta del 25%.
- Se pueden obtener concretos de alto asentamiento y tiempo de manejabilidad.
- Facilita la colocación del concreto en sitio, ya que reduce o elimina la dosificación en obra de reductores de alto rango.

- Los concretos fabricados con PLASTOL 8000 tienen alta cohesividad, baja exudación y no presentan segregación.

*e. Dosificación:* PLASTOL 8000 puede ser usado a una dosis de 0.10% a 1.2% del peso del cemento, es decir, de 94 ml a 1132 ml por cada 100 kg de cemento, según la reducción de agua requerida.

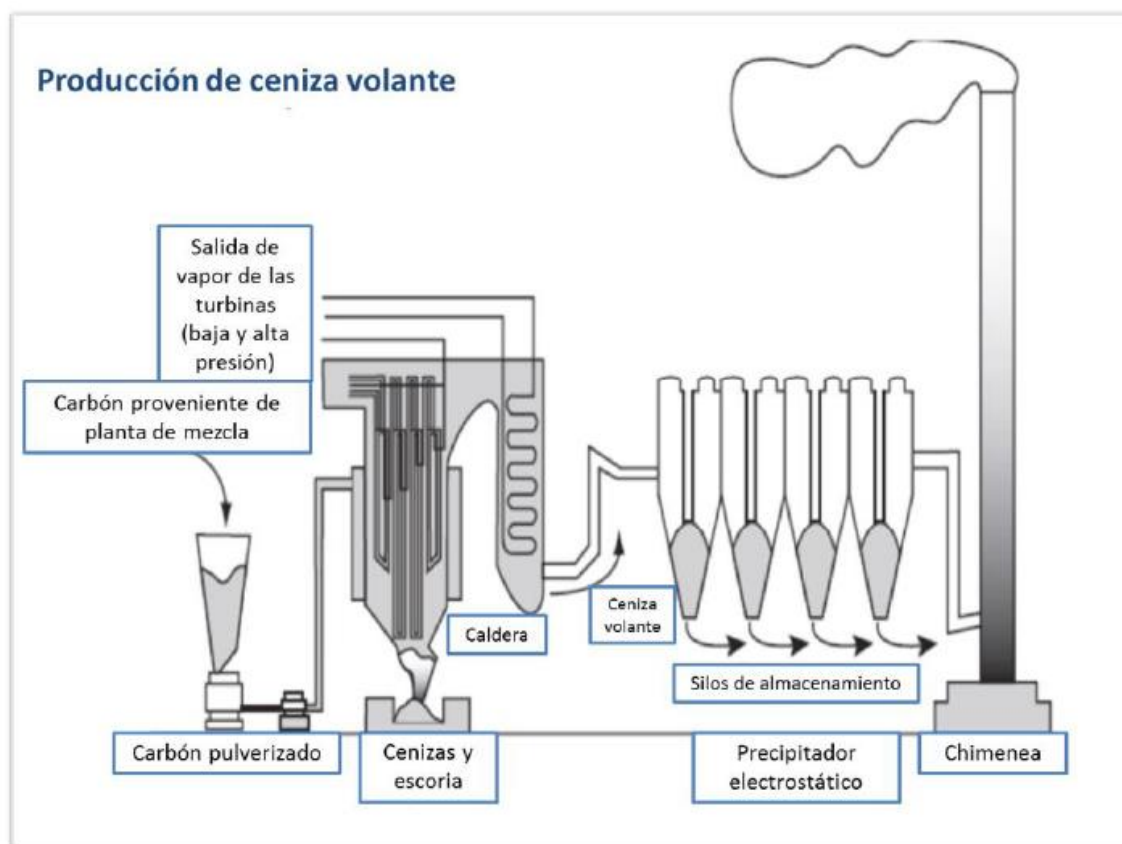
Si se va a utilizar en conjunto con aditivos incorporadores de aire, se deben realizar ensayos previos para establecer la dosis adecuada.

*f. Aplicación:* PLASTOL 8000 debe ser adicionado preferiblemente al agua de amasado o al concreto antes de la colocación, no debe ser colocado al cemento seco o sobre otros aditivos hasta que éstos estén completamente incorporados en la mezcla. Para incrementar el asentamiento se adiciona a una mezcla de consistencia normal para obtener una mezcla con características de concreto bombeable. Para cualquiera de las anteriores aplicaciones es fundamental que el tiempo de mezclado una vez se adiciona el aditivo sea como mínimo de 5 a 10 minutos, esto con el fin de permitir que el aditivo se incorpore adecuadamente a la mezcla de concreto.

PLASTOL 8000 puede ser dosificado con equipo automático para garantizar uniformidad en el trabajo.

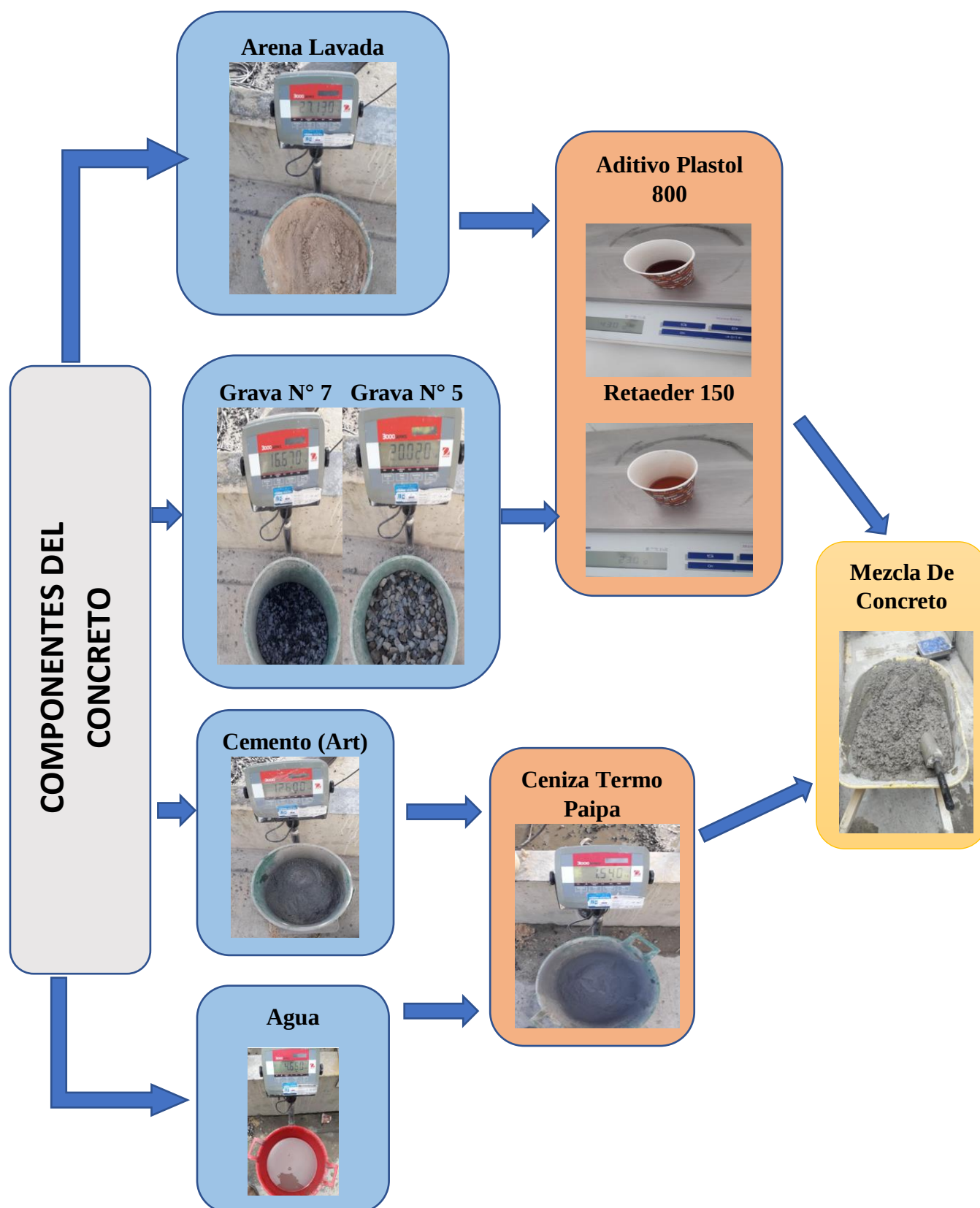
Fuente: ficha técnica de toxement

Figura 1 Esquema de producción de cenizas volantes



Fuente: Tesis Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE

Figura 2 Componentes del concreto



## Capítulo IV Pruebas y Resultados

### 4. 1.Cálculo de la mezcla

#### 4.1.1. Calculo de mezcla (264kg) al 0.75

Cuadro diseño de mezcla patrón de 0.75 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y el cemento 264 Kg inicialmente calculado para 1 m<sup>2</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 9 Ejecución de la mezcla (264kg) relación Agua-Cemento

| EJECUCION DE LA MEZCLA (264Kg) 0.75 RELACION AGUA-CEMENTO |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
|-----------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------------|-------|-----------|---------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                          |       |                 |           |               |       | Para 35   |               |                           |
| Material                                                  | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen ( l ) |       | Peso (kg) | Volumen ( l ) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3,10            | 264       | 85,16         |       | 9,24      | 2,981         | 9,24                      |
| Cemento 2 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3,10            |           |               |       |           |               |                           |
| Arena 1 ARENA Natural                                     | 100%  | 2,68            | 773       | 288,37        |       | 27,05     | 10,093        | 28,41                     |
| Arena 2                                                   |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                          | 100%  | 2,70            | 502       | 185,86        | 26,7% | 17,56     | 6,505         | 17,46                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                          | 100%  | 2,66            | 602       | 226,33        | 32,1% | 21,07     | 7,922         | 20,96                     |
| Grava 3                                                   |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Agua TOTAL                                                |       | 1,00            | 198       | 198,00        |       | 6,93      | 6,93          | 5,79                      |
| Agua AGUA de mezcla                                       |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                        | 0,40% | 1,40            | 1,06      | 0,75          |       | 0,037     | 0,026         | 0,037                     |
| Aditivo 2 Plastol                                         | 0,22% | 1,08            | 0,58      | 0,54          |       | 0,020     | 0,019         | 0,020                     |
| Aditivo 3                                                 |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Aditivo 4                                                 |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Aditivo 5                                                 |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                      |       |                 |           | 15,00         |       |           |               |                           |
| Total mortero                                             |       |                 | 1036,83   | 373,53        |       |           |               |                           |
| Totales                                                   |       |                 | 2340,35   | 1000          |       | 72,67     | 34,48         | 80,78                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 10 humedad de la mezcla (264 kg) 0.75 relación Agua-Cemento

| HUMEDAD      |                     |                 |                     |             |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Material     | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección  |
| Arena 1      | 5,52                | 0,50            | 5,02                | 1,36        |
| Grava 1      | 0,59                | 1,20            | -0,61               | -0,11       |
| Grava 2      | 0,35                | 0,90            | -0,55               | -0,12       |
| <b>Total</b> |                     |                 |                     | <b>1,14</b> |

Fuente Elaboración propia

Cuadro diseño de mezcla 0.75 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 264Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 10% por ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 11 Mezcla 0.75 relación Agua Cemento con 10% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (264Kg) 0.75 RELACION AGUA CEMENTO CON 10% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------------|-------|-----------|---------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |               |       | Para 35   |               |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen ( l ) |       | Peso (kg) | Volumen ( l ) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3,10            | 238       | 76,65         |       | 8,32      | 2,683         | 8,32                      |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2,20            | 26        | 12,00         |       | 0,92      | 0,420         | 0,92                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2,68            | 769       | 286,94        | 41,2% | 26,91     | 10,043        | 29,24                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2,70            | 499       | 184,94        | 26,7% | 17,48     | 6,473         | 17,45                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2,66            | 599       | 225,21        | 32,1% | 20,97     | 7,882         | 21,00                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1,00            | 198       | 198,00        |       | 6,93      | 6,93          | 4,60                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0,40% | 1,40            | 1,06      | 0,75          |       | 0,037     | 0,026         | 0,037                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0,22% | 1,08            | 0,58      | 0,54          |       | 0,020     | 0,019         | 0,020                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |               |       |           |               |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15,00         |       |           |               |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 1006,59   | 363,58        |       |           |               |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2331,02   | 1000          |       | 73,27     | 34,48         | 79,25                     |

Fuente Elaboración propi

Tabla 12 Humedad Mezcla 0.75 con 10% de ceniza

| HUMEDAD      |                     |                 |                     |             |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Material     | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección  |
| Arena 1      | 9,15                | 0,50            | 8,65                | 2,33        |
|              |                     |                 |                     |             |
| Grava 1      | 1,02                | 1,20            | -0,18               | -0,03       |
| Grava 2      | 1,08                | 0,90            | 0,18                | 0,04        |
|              |                     |                 |                     |             |
| <b>Total</b> |                     |                 |                     | <b>2,33</b> |

Fuente Elaboración propia

Cuadro diseño de mezcla 0.75 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 264Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 20% por ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 13 Mezcla 0.75 relación Agua Cemento con 20% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (264Kg) 0.75 RELACION AGUA CEMENTO CON 20% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m <sup>3</sup>                                                                           |       |                 |           |               | Para 35      |              |               |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen ( l ) |              | Peso (kg)    | Volumen ( l ) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3,10            | 211       | 68,13         |              | 7,39         | 2,385         | <b>7,39</b>               |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2,20            | 53        | 24,00         |              | 1,85         | 0,840         | <b>1,85</b>               |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2,68            | 765       | 285,54        | <b>41,2%</b> | 26,78        | 9,994         | <b>29,06</b>              |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2,70            | 497       | 184,04        | <b>26,7%</b> | 17,39        | 6,441         | <b>17,36</b>              |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2,66            | 596       | 224,12        | <b>32,1%</b> | 20,87        | 7,844         | <b>20,89</b>              |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| <b>Agua TOTAL</b>                                                                                      |       | 1,00            | 198       | 198,00        |              | 6,93         | 6,93          | <b>4,66</b>               |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0,40% | 1,40            | 1,06      | 0,75          |              | <b>0,037</b> | 0,026         | <b>0,037</b>              |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0,18% | 1,08            | 0,48      | 0,44          |              | <b>0,017</b> | 0,015         | <b>0,017</b>              |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15,00         |              |              |               |                           |
| <b>Total mortero</b>                                                                                   |       |                 | 976,45    | 353,67        |              |              |               |                           |
| <b>Totales</b>                                                                                         |       |                 | 2321,84   | <b>1000</b>   |              | 73,87        | 34,48         | 79,00                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 14 Humedad Mezcla 0.75 con 20% de ceniza

| HUMEDAD      |                     |                 |                     |             |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Material     | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección  |
| Arena 1      | 9,00                | 0,50            | 8,50                | 2,28        |
|              |                     |                 |                     |             |
| Grava 1      | 1,03                | 1,20            | -0,17               | -0,03       |
| Grava 2      | 1,00                | 0,90            | 0,10                | 0,02        |
|              |                     |                 |                     |             |
| <b>Total</b> |                     |                 |                     | <b>2,27</b> |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.75 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 264Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 30% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 30Lts de mezcla de concreto la cual se trabajo en laboratorio.

Tabla 15 Mezcla (264Kg) 0.75 relación Agua Cemento con 30% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (264Kg) 0.75 RELACION AGUA CEMENTO CON 30% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |               |              | Para 30      |               |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen ( l ) |              | Peso (kg)    | Volumen ( l ) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 <b>CEMENTO ART</b>                                                                           | 100%  | 3,10            | 185       | 59,61         |              | 5,54         | 1,788         | <b>5,54</b>               |
| Cemento 2 <b>CENIZA</b>                                                                                | 100%  | 2,20            | 79        | 36,00         |              | 2,38         | 1,080         | <b>2,38</b>               |
| Arena 1 <b>ARENA Natural</b>                                                                           | 100%  | 2,68            | 761       | 284,01        | <b>41,2%</b> | 22,83        | 8,520         | <b>25,87</b>              |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Grava 1 <b>GRAVA #7</b>                                                                                | 100%  | 2,70            | 494       | 183,05        | <b>26,7%</b> | 14,83        | 5,492         | <b>14,81</b>              |
| Grava 2 <b>GRAVA #5</b>                                                                                | 100%  | 2,66            | 593       | 222,91        | <b>32,1%</b> | 17,79        | 6,687         | <b>17,81</b>              |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| <b>Agua TOTAL</b>                                                                                      |       | 1,00            | 198       | 198,00        |              | 5,94         | 5,94          | <b>2,90</b>               |
| Agua <b>AGUA de mezcla</b>                                                                             |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Aditivo 1 <b>Retarder</b>                                                                              | 0,40% | 1,40            | 1,06      | 0,75          |              | <b>0,032</b> | 0,023         | <b>0,032</b>              |
| Aditivo 2 <b>Plastol</b>                                                                               | 0,28% | 1,08            | 0,74      | 0,68          |              | <b>0,022</b> | 0,021         | <b>0,022</b>              |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |               |              |              |               |                           |
| <b>AIRE ATRAPADO (1,5%)</b>                                                                            |       |                 |           | 15,00         |              |              |               |                           |
| <b>Total mortero</b>                                                                                   |       |                 | 945,94    | 343,62        |              |              |               |                           |
| <b>Totales</b>                                                                                         |       |                 | 2312,12   | <b>1000</b>   |              | 63,82        | 29,55         | 66,32                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 16 Humedad Mezcla 0.75 con 30% de ceniza

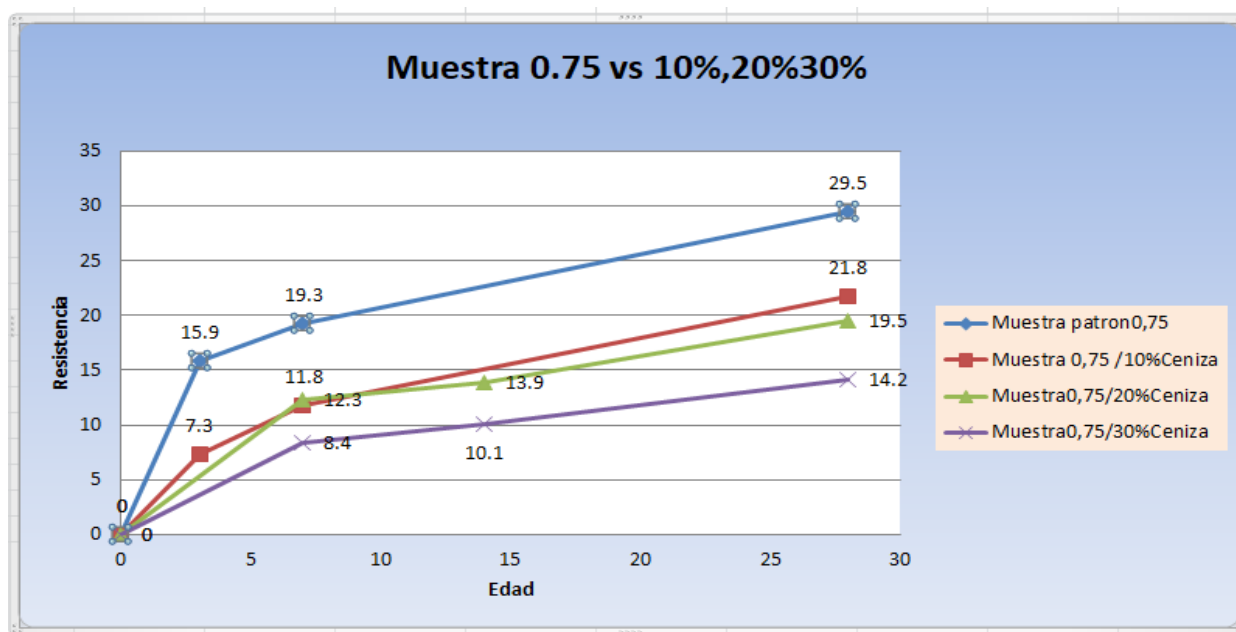
| HUMEDAD      |                     |                 |                     |             |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Material     | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección  |
| Arena 1      | 13,80               | 0,50            | 13,30               | 3,04        |
| Grava 1      | 1,10                | 1,20            | -0,10               | -0,01       |
| Grava 2      | 1,00                | 0,90            | 0,10                | 0,02        |
| <b>Total</b> |                     |                 |                     | <b>3,04</b> |

Elaboración propia

#### 4.1.1.1. Grafica de Resultados

Grafica de resultados en pruebas a compresión de concreto 0.75 relacion agua-cemento VS una sustitucion de cenemto 10%, 20%, 30% por ceniza de la termo paipa, nivel de laboratorio.

Gráfico 1 Muestra 0.75 vs 10%,20% 30%



Fuente Elaboración propia

#### 4.1.1.2. Análisis del de resultados

Se plantea una mezcla patrón 0.75 relación agua-cemento con 264 Kg de cemento esto para  $1\text{m}^2$  de concreto inicialmente, a esto se saca en equivalente para trabajar 35 Lts de mezcla de concreto (excepto la relación 0,75 agua-cemento al 30% de sustitución la cual se trabajó con 30 Lts de mezcla).

- En la muestra patrón 0.75 relación agua-cemento se tiene 15.9Mpa a 3 días, un 19.3Mpa a 7 días y un 29.5 Mpa a 28 días
- En la mezcla 0.75 con el 10% de ceniza de sustitución se tiene 7.3Mpa a 3 días, 11.8Mpa a 7 días 21.8Mpa, 28 días
- En la mezcla 0.75 con el 20% de ceniza de sustitución se tiene 12.3Mpa a 7 días, 13.9 Mpa, 14 días 19.5Mpa y a 28 días
- En la mezcla 0.75 con el 30% de ceniza de sustitución se tiene 8.4Mpa a 7 días, 10.1Mpa 14 días, 14.2Mpa y a 28 días
- En la muestra 0,75 del 10% de sustitución se disminuye la resistencia un 38.9% a 7 días, a 28 días un 26.1%
- En la muestra 0,75 del 20% de sustitución se disminuye la resistencia un 36.3% a 7 días, a 28 días un 33.9%
- En la muestra 0,75 del 30% de sustitución se disminuye la resistencia un 56.5% a 7 días, a 28 días un 51.9%

#### **4.1.2. *Calculo de mezcla (305kg) al 0.65***

Cuadro diseño de mezcla patrón de 0.65 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y el cemento 305 Kg inicialmente calculado para 1 m<sup>2</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 17 Ejecución de la mezcla (305kg) relación Agua-Cemento

| EJECUCION DE LA MEZCLA (305Kg) 0.65 RELACION AGUA-CEMENTO |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
|-----------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|----------------|-------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m <sup>3</sup>                              |       |                 |           |             |       | Para <u>35</u> |             |                           |
| Material                                                  | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg)      | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3,10            | 305       | 98,26       |       | 10,66          | 3,439       | 10,66                     |
| Cemento 2 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3,10            |           |             |       |                |             |                           |
| Arena 1 ARENA Natural                                     | 100%  | 2,68            | 758       | 282,90      | 41,2% | 26,54          | 9,901       | 27,87                     |
| Arena 2                                                   |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                          | 100%  | 2,70            | 492       | 182,34      | 26,7% | 17,23          | 6,382       | 17,13                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                          | 100%  | 2,66            | 591       | 222,04      | 32,1% | 20,67          | 7,771       | 20,56                     |
| Grava 3                                                   |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
| Agua TOTAL                                                |       | 1,00            | 198       | 198,00      |       | 6,93           | 6,93        | 5,82                      |
| Agua AGUA de mezcla                                       |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                        | 0,40% | 1,40            | 1,22      | 0,87        |       | 0,043          | 0,030       | 0,043                     |
| Aditivo 2 Plastol                                         | 0,22% | 1,08            | 0,67      | 0,62        |       | 0,023          | 0,022       | 0,023                     |
| Aditivo 3                                                 |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
| Aditivo 4                                                 |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
| Aditivo 5                                                 |       |                 |           |             |       |                |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                      |       |                 |           | 15,00       |       |                |             |                           |
| Total mortero                                             |       |                 | 1062,77   | 381,16      |       |                |             |                           |
| Totales                                                   |       |                 | 2345,59   | 1000        |       | 71,43          | 34,48       | 80,98                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 18 Humedad de la mezcla (305kg) relación Agua-Cemento

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 5,52                | 0,50            | 5,02                | 1,33       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 0,59                | 1,20            | -0,61               | -0,11      |
| Grava 2  | 0,35                | 0,90            | -0,55               | -0,11      |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 1,11       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.65 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 305Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 10% de

ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35 lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 19 Mezcla 0.65 relación Agua Cemento con 10% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (305Kg) 0.65 RELACION AGUA CEMENTO CON 10% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------------|-----------|--------------|---------------|---------------------------|--|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |               |           | Para 35      |               |                           |  |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen ( l ) |           | Peso (kg)    | Volumen ( l ) | Corrección x Humedad (kg) |  |
| Cemento 1 <b>CEMENTO ART</b>                                                                           | 100%  | 3,10            | 275       | 88,55         |           | 9,61         | 3,099         | <b>9,61</b>               |  |
| Cemento 2 <b>CENIZA</b>                                                                                | 100%  | 2,20            | 31        | 13,86         |           | 1,07         | 0,485         | <b>1,07</b>               |  |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2,68            | 754       | 281,19        |           | 26,38        | 9,842         | <b>28,66</b>              |  |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2,70            | 489       | 181,23        |           | 17,13        | 6,343         | <b>17,10</b>              |  |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2,66            | 587       | 220,70        |           | 20,55        | 7,724         | <b>20,58</b>              |  |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
| <b>Agua TOTAL</b>                                                                                      |       | 1,00            | 198       | 198,00        | <b>14</b> | 6,93         | 6,93          | <b>4,64</b>               |  |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0,40% | 1,40            | 1,22      | 0,87          |           | <b>0,043</b> | 0,031         | <b>0,043</b>              |  |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0,22% | 1,08            | 0,67      | 0,62          |           | <b>0,023</b> | 0,022         | <b>0,023</b>              |  |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |               |           |              |               |                           |  |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15,00         |           |              |               |                           |  |
| <b>Total mortero</b>                                                                                   |       |                 | 1028,08   | 369,73        |           |              |               |                           |  |
| <b>Totales</b>                                                                                         |       |                 | 2334,86   | <b>1000</b>   |           | 72,11        | 34,48         | 79,43                     |  |

Fuente Elaboración propia

Tabla 20 Humedad Mezcla 0.65 con 10% de ceniza

| HUMEDAD      |                     |                 |                     |             |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Material     | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección  |
| Arena 1      | 9,15                | 0,50            | 8,65                | 2,28        |
|              |                     |                 |                     |             |
| Grava 1      | 1,02                | 1,20            | -0,18               | -0,03       |
| Grava 2      | 1,08                | 0,90            | 0,18                | 0,04        |
|              |                     |                 |                     |             |
| <b>Total</b> |                     |                 |                     | <b>2,29</b> |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.65 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 305Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 20% de

ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para  $1\text{m}^3$  de concreto. Se halla la proporción equivalente para 30Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 21 Mezcla 0.65 relación Agua Cemento con 20% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (305Kg) 0.65 RELACION AGUA CEMENTO CON 20% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para 1 m <sup>3</sup>                                                                                  |       |                 |           |             |       | Para 35   |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3,10            | 244       | 78,71       | 41,2% | 8,54      | 2,755       | 8,54                      |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2,20            | 61        | 27,73       |       | 2,14      | 0,970       | 2,14                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2,68            | 749       | 279,46      |       | 26,21     | 9,781       | 28,44                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2,70            | 486       | 180,12      | 26,7% | 17,02     | 6,304       | 16,99                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2,66            | 583       | 219,34      | 32,1% | 20,42     | 7,677       | 20,44                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1,00            | 198       | 198,00      | 14    | 6,93      | 6,93        | 4,71                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0,40% | 1,40            | 1,22      | 0,87        |       | 0,043     | 0,031       | 0,043                     |
| Aditivo 2 Plastoi                                                                                      | 0,28% | 1,08            | 0,85      | 0,79        |       | 0,030     | 0,028       | 0,030                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15,00       |       |           |             |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 992,95    | 358,17      |       |           |             |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2323,80   | 1000        |       | 72,79     | 34,48       | 79,11                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 22 Humedad Mezcla 0.65 con 20% de ceniza

| HUMEDAD  |                   |               |                   |            |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|------------|
| Material | Humedad total (%) | Absorción (%) | Humedad libre (%) | Corrección |
| Arena 1  | 9,00              | 0,50          | 8,50              | 2,23       |
|          |                   |               |                   |            |
| Grava 1  | 1,03              | 1,20          | -0,17             | -0,03      |
| Grava 2  | 1,00              | 0,90          | 0,10              | 0,02       |
|          |                   |               |                   |            |
| Total    |                   |               |                   | 2,22       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.65 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 305Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 30% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 30Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 23 Mezcla 0.65 relación Agua Cemento con 30% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (305Kg) 0.65 RELACION AGUA CEMENTO CON 30% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para 1 m3                                                                                              |       |                 |           |             |       | Para 30   |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3,10            | 214       | 68,87       | 41,2% | 6,41      | 2,066       | 6,41                      |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2,20            | 92        | 41,59       |       | 2,75      | 1,248       | 2,75                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2,68            | 745       | 277,80      |       | 22,34     | 8,334       | 25,80                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2,70            | 483       | 179,05      | 26,7% | 14,50     | 5,372       | 14,50                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2,66            | 580       | 218,04      | 32,1% | 17,40     | 6,541       | 17,42                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1,00            | 198       | 198,00      | 14    | 5,94      | 5,94        | 2,46                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0,40% | 1,40            | 1,22      | 0,87        |       | 0,037     | 0,026       | 0,037                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0,28% | 1,08            | 0,85      | 0,79        |       | 0,026     | 0,024       | 0,026                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15,00       |       |           |             |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 958,01    | 346,67      |       |           |             |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2313,02   | 1000        |       | 62,99     | 29,55       | 65,91                     |

Fuente Elaboración propia

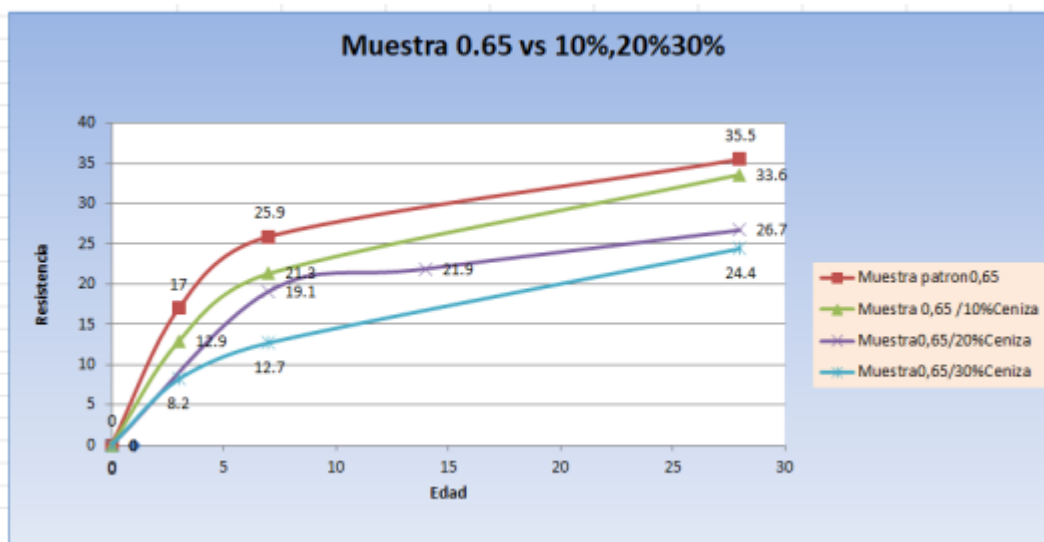
Tabla 24 Humedad Mezcla 0.65 con 30% de ceniza

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 16,02               | 0,50            | 15,52               | 3,47       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 1,20                | 1,20            |                     |            |
| Grava 2  | 1,00                | 0,90            | 0,10                | 0,02       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 3,48       |

#### 4.1.2.1. Grafica de Resultados

Grafica de resultados en pruebas a compresión de concreto 0.65 relacion agua-cemento en una sustitucion de cenemto 10%, 20%, 30% por ceniza de la termo paipa, nivel de laboratorio

Gráfico 2 Muestra 0.65 vs 10%, 20%, 30%



#### 4.1.2.2. Análisis del de resultados

Se plantea una mezcla patrón 0.65 relación agua-cemento con 305 Kg de cemento esto para 1m<sup>2</sup> de concreto inicialmente, a esto se saca en equivalente para trabajar 35 Lts de mezcla de concreto (excepto la relación 0,65 agua-cemento al 30% de sustitución la cual se trabajó con 30 Lts de mezcla).

- En la muestra patrón 0.65 relación agua-cemento se tiene 17Mpa a 3 días, un 25.9Mpa a 7 días y un 35.5Mpa a 28 días
- En la mezcla 0.65 con el 10% de ceniza de sustitución se tiene 12.9Mpa a 3 días, 21.3Mpa a 7 días 33.6Mpa, 28 días
- En la mezcla 0.65 con el 20% de ceniza de sustitución se tiene 19.1Mpa a 7 días, 21.9Mpa, 14 días 26.7Mpa y a 28 días

- En la mezcla 0.65 con el 30% de ceniza de sustitución se tiene 8.2Mpa a 3días, 12.7Mpa a 7 días, 24.4Mpa y a 28días
- En la muestra 0,65 del 10% de sustitución se disminuye la resistencia un 17.8% a 7 días, a 28 días un 5.4%
- En la muestra 0,65 del 20% de sustitución se disminuye la resistencia un 26.3% a 7 días, a 28 días un 24.8%
- En la muestra 0,65 del 30% de sustitución se disminuye la resistencia un 51.0% a 7 días, a 28 días un 31.3%

#### 4.1.3. Calculo de mezcla (360kg) al 0.55

Cuadro diseño de mezcla patrón de 0.55 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y el cemento 360 Kg inicialmente calculado para 1 m<sup>2</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 25 Mezcla (360Kg) 0.55 relación Agua Cemento

| EJECUCION DE LA MEZCLA (360Kg) 0,55 RELACION AGUA -CEMENTO |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
|------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                           |       |                 |           |             |       | Para 35   |             |                           |
| Material                                                   | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                      | 100%  | 3,10            | 360       | 116,13      |       | 12,60     | 4,065       | 12,60                     |
| Cemento 2 CEMENTO ART                                      | 100%  | 3,10            |           |             |       |           |             |                           |
| Arena 1 ARENA Natural                                      | 100%  | 2,68            | 738       | 275,43      | 41,2% | 25,84     | 9,640       | 27,13                     |
| Arena 2                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                           | 100%  | 2,70            | 479       | 177,52      | 26,7% | 16,78     | 6,213       | 16,67                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                           | 100%  | 2,66            | 575       | 216,18      | 32,1% | 20,13     | 7,566       | 20,02                     |
| Grava 3                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                 |       | 1,00            | 198       | 198,00      |       | 6,93      | 6,93        | 5,85                      |
| Agua AGUA de mezcla                                        |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                         | 0,40% | 1,40            | 1,44      | 1,03        |       | 0,050     | 0,036       | 0,050                     |
| Aditivo 2 Plastol                                          | 0,22% | 1,08            | 0,79      | 0,73        |       | 0,028     | 0,026       | 0,028                     |
| Aditivo 3                                                  |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                  |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                  |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                       |       |                 |           | 15,00       |       |           |             |                           |
| Total mortero                                              |       |                 | 1098,15   | 391,56      |       |           |             |                           |
| Totales                                                    |       |                 | 2352,73   | 1000        |       | 69,75     | 34,48       | 81,26                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 26 Humedad Mezcla 0.55

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 5.52                | 0.50            | 5.02                | 1.30       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 0.59                | 1.20            | -0.61               | -0.10      |
| Grava 2  | 0.35                | 0.90            | -0.55               | -0.11      |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 1.08       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.55 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 360Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 10% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 27 Mezcla (360Kg) 0.55 relación Agua Cemento con 10% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (360Kg) 0.55 RELACION AGUA CEMENTO CON 10% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|---------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |             | Para 35 |           |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |         | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 324       | 104.52      |         | 11.34     | 3.658       | 11.34                     |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 36        | 16.36       |         | 1.26      | 0.573       | 1.26                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 733       | 273.39      | 41.2%   | 25.64     | 9.569       | 27.86                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 476       | 176.21      | 26.7%   | 16.65     | 6.167       | 16.62                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 571       | 214.58      | 32.1%   | 19.98     | 7.510       | 20.01                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00      |         | 6.93      | 6.93        | 4.71                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 1.44      | 1.03        |         | 0.050     | 0.036       | 0.050                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.28% | 1.08            | 1.01      | 0.93        |         | 0.035     | 0.033       | 0.035                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |         |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |         |           |             |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 1056.69   | 377.91      |         |           |             |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2339.68   | 1000        |         | 70.55     | 34.48       | 79.66                     |

Tabla 28 Humedad Mezcla 0.55 con 10% de ceniza

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 9.15                | 0.50            | 8.65                | 2.22       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 1.02                | 1.20            | -0.18               | -0.03      |
| Grava 2  | 1.08                | 0.90            | 0.18                | 0.04       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 2.22       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.55 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 360Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 20% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 29 Mezcla (360Kg) 0.55 relación Agua Cemento con 20% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (360Kg) 0.55 RELACION AGUA CEMENTO CON 20% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |             |       | Para 35   |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 288       | 92.90       |       | 10.08     | 3.252       | 10.08                     |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 72        | 32.73       |       | 2.52      | 1.145       | 2.52                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 727       | 271.44      | 41.2% | 25.46     | 9.500       | 27.62                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 472       | 174.95      | 26.7% | 16.53     | 6.123       | 16.50                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 567       | 213.04      | 32.1% | 19.83     | 7.457       | 19.85                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 6.93      | 6.93        | 4.77                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 1.44      | 1.03        |       | 0.050     | 0.036       | 0.050                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.28% | 1.08            | 1.01      | 0.93        |       | 0.035     | 0.033       | 0.035                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |       |           |             |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 1015.45   | 364.34      |       |           |             |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2326.96   | 1000        |       | 71.36     | 34.48       | 79.29                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 30 Humedad Mezcla 0.55 con 20% de ceniza

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 9.00                | 0.50            | 8.50                | 2.16       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 1.03                | 1.20            | -0.17               | -0.03      |
| Grava 2  | 1.00                | 0.90            | 0.10                | 0.02       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 2.16       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.55 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 360Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 30% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 30Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 31 Mezcla (360Kg) 0.55 relación Agua Cemento con 30% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (360Kg) 0.55 RELACION AGUA CEMENTO CON 30% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|---------------|-----------|-------|---------------|-------------------------|------|
| Para 1 m3                                                                                              |       |                 |           |               |           |       | Para 30       |                         |      |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen ( l ) | Peso (kg) |       | Volumen ( l ) | Corrección Humedad (kg) |      |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 252       | 81.29         |           |       | 7.56          | 2.439                   | 7.56 |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 108       | 49.09         |           |       | 3.24          | 1.473                   | 3.24 |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 722       | 269.48        | 41.2%     | 21.67 | 8.084         | 24.66                   |      |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 469       | 173.69        | 26.7%     | 14.07 | 5.211         | 14.05                   |      |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 563       | 211.51        | 32.1%     | 16.88 | 6.345         | 16.88                   |      |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00        |           | 5.94  | 5.94          | 2.96                    |      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 1.44      | 1.03          |           | 0.043 | 0.031         | 0.043                   |      |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.28% | 1.08            | 1.01      | 0.93          |           | 0.030 | 0.028         | 0.030                   |      |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |               |           |       |               |                         |      |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00         |           |       |               |                         |      |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 974.21    | 350.77        |           |       |               |                         |      |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2314.23   | 1000          |           | 61.87 | 29.55         | 66.45                   |      |

Fuente Elaboración propia

Tabla 32 Humedad Mezcla 0.55 con 30% de ceniza

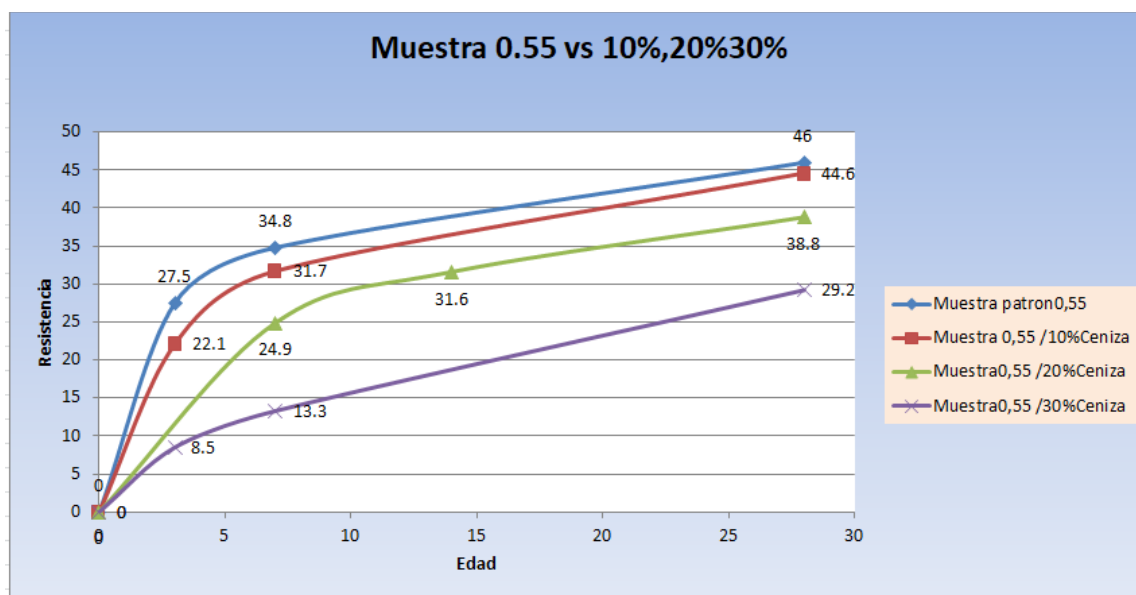
| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 14.30               | 0.50            | 13.80               | 2.99       |
| Grava 1  | 1.10                | 1.20            | -0.10               | -0.01      |
| Grava 2  | 0.90                | 0.90            |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 2.98       |

Fuente Elaboración propia

#### 4.1.3.1. Grafica de Resultados

Grafica de resultados en pruebas a compresión de concreto 0.55 relacion agua-cemento en una sustitucion de cenemto 10%, 20%, 30% por ceniza de la termo paipa, nivel de laboratorio

Gráfico 3 Muestra 0.55 vs 10% 20% 30%



Fuente Elaboración propia

#### 4.1.3.2. Análisis resultados

Se plantea una mezcla patrón 0.55 relación agua-cemento con 360 Kg de cemento esto para  $1\text{m}^2$  de concreto inicialmente, a esto se saca en equivalente para trabajar 35 Lts de mezcla de concreto (acepto la relación 0,55 agua-cemento al 30% de sustitución la cual se trabajó con 30 Lts de mezcla).

- En la muestra patrón 0.55 relación agua-cemento se tiene 22.1Mpa a 3 días, un 31.7Mpa a 7 días y un 46Mpa a 28 días.
- En la mezcla 0.55 con el 10% de ceniza de sustitución se tiene 27.5Mpa a 3 días, 34.8Mpa a 7días 44.6Mpa, 28 días
- En la mezcla 0.55 con el 20% de ceniza de sustitución se tiene 24.9Mpa a 7 días, 31.6Mpa, 14 días 38,8Mpa y a 28días
- En la mezcla 0.55 con el 30% de ceniza de sustitución se tiene 8.5Mpa a 3dias, 13.3Mpa 7 días, 29.2Mpa y a 28dias
- En la muestra 0,55 del 10% de sustitución se disminuye la resistencia un 8.9% a 7 días, a 28 días un 3.1%
- En la muestra 0,55 del 20% de sustitución se disminuye la resistencia un 28.4% a 7 días, a 28 días un 13.0%
- En la muestra 0,55 del 30% de sustitución se disminuye la resistencia un 58.9% a 7 días, a 28 días un 34.5%

#### 4.1.4. Calculo de mezcla (440kg) al 0.45

Cuadro diseño de mezcla patrón de 0.45 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y el cemento 440 Kg inicialmente calculado para 1 m<sup>2</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 33 Mezcla (440Kg) 0.45 relación Agua Cemento

| EJECUCION DE LA MEZCLA (440Kg) 0.45 RELACION AGUA-CEMENTO |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
|-----------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|--|
| Para <u>1</u> m3                                          |       |                 |           |             |       | Para 35   |             |                           |  |
| Material                                                  | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |  |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3.10            | 440       | 141.94      |       | 15.40     | 4.968       | 15.40                     |  |
| Cemento 2 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3.10            |           |             |       |           |             |                           |  |
| Arena 1 ARENA Natural                                     | 100%  | 2.68            | 709       | 264.65      | 41.2% | 24.82     | 9.263       | 26.58                     |  |
| Arena 2                                                   |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Grava 1 GRAVA #7                                          | 100%  | 2.70            | 461       | 170.57      | 26.7% | 16.12     | 5.970       | 16.05                     |  |
| Grava 2 GRAVA #5                                          | 100%  | 2.66            | 553       | 207.71      | 32.1% | 19.34     | 7.270       | 19.33                     |  |
| Grava 3                                                   |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Agua TOTAL                                                |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 6.93      | 6.93        | 5.25                      |  |
| Agua AGUA de mezcla                                       |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Aditivo 1 Retarder                                        | 0.40% | 1.40            | 1.76      | 1.26        |       | 0.062     | 0.044       | 0.062                     |  |
| Aditivo 2 Plastol                                         | 0.22% | 1.08            | 0.97      | 0.90        |       | 0.034     | 0.031       | 0.034                     |  |
| Aditivo 3                                                 |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Aditivo 4                                                 |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Aditivo 5                                                 |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| AIRE ATRAPADO (1.5%)                                      |       |                 |           | 15.00       |       |           |             |                           |  |
| Total mortero                                             |       |                 | 1149.25   | 406.58      |       |           |             |                           |  |
| Totales                                                   |       |                 | 2363.04   | 1000        |       | 67.31     | 34.48       | 81.02                     |  |

Fuente Elaboración propia

Tabla 34 Humedad Mezcla 0.45

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 7.56                | 0.50            | 7.06                | 1.75       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 0.79                | 1.20            | -0.41               | -0.07      |
| Grava 2  | 0.88                | 0.90            | -0.02               | 0.00       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 1.68       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.45 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 440Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 10% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 35 Mezcla (440Kg) 0.45 relación Agua Cemento con 10% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (440Kg) 0.45 RELACION AGUA CEMENTO CON 10% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |             |       | Para 35   |       |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | 9.15  | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 396       | 127.74      |       | 13.86     | 4.471 | 13.86                     |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 44        | 20.00       |       | 1.54      | 0.700 | 1.54                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 703       | 262.26      | 41.2% | 24.60     | 9.179 | 26.73                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 456       | 169.03      | 26.7% | 15.97     | 5.916 | 15.94                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 548       | 205.84      | 32.1% | 19.16     | 7.204 | 19.20                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 6.93      | 6.93  | 4.80                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 1.76      | 1.26        |       | 0.062     | 0.044 | 0.062                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.22% | 1.08            | 0.97      | 0.90        |       | 0.034     | 0.031 | 0.034                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |       |           |       |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 1098.84   | 390.00      |       |           |       |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2347.49   | 1000        |       | 68.30     | 34.48 | 80.03                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 36 Humedad Mezcla 0.45 con 10% de ceniza

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 9.15                | 0.50            | 8.65                | 2.13       |
| Grava 1  | 1.02                | 1.20            | -0.18               | -0.03      |
| Grava 2  | 1.08                | 0.90            | 0.18                | 0.03       |
| Total    |                     |                 |                     | 2.13       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.45 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 440Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 20% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 37 Mezcla (440Kg) 0.45 relación Agua Cemento con 20% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (440Kg) 0.45 RELACION AGUA CEMENTO CON 20% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|--------------|--------------|-------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |             |              | Para 35      |       |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |              | Peso (kg)    | 9.15  | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 <b>CEMENTO ART</b>                                                                           | 100%  | 3.10            | 352       | 113.55      |              | 12.32        | 3.974 | <b>12.32</b>              |
| Cemento 2 <b>CENIZA</b>                                                                                | 100%  | 2.20            | 88        | 40.00       |              | 3.08         | 1.400 | <b>3.08</b>               |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 696       | 259.76      | <b>41.2%</b> | 24.37        | 9.092 | <b>26.07</b>              |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 452       | 167.43      | <b>26.7%</b> | 15.82        | 5.860 | <b>15.76</b>              |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 542       | 203.88      | <b>32.1%</b> | 18.98        | 7.136 | <b>18.95</b>              |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
| <b>Agua TOTAL</b>                                                                                      |       | 1.00            | 198       | 198.00      |              | 6.93         | 6.93  | <b>5.32</b>               |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 1.76      | 1.26        |              | <b>0.062</b> | 0.044 | <b>0.062</b>              |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.28% | 1.08            | 1.23      | 1.14        |              | <b>0.043</b> | 0.040 | <b>0.043</b>              |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |              |              |       |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |              |              |       |                           |
| <b>Total mortero</b>                                                                                   |       |                 | 1048.17   | 373.31      |              |              |       |                           |
| <b>Totales</b>                                                                                         |       |                 | 2331.54   | <b>1000</b> |              | 69.28        | 34.48 | 79.99                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 38 Humedad Mezcla 0.45 con 20% de ceniza

| HUMEDAD      |                     |                 |                     |             |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Material     | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección  |
| Arena 1      | 7.50                | 0.50            | 7.00                | 1.71        |
|              |                     |                 |                     |             |
| Grava 1      | 0.80                | 1.20            | -0.40               | -0.06       |
| Grava 2      | 0.75                | 0.90            | -0.15               | -0.03       |
|              |                     |                 |                     |             |
| <b>Total</b> |                     |                 |                     | <b>1.61</b> |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.45 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 440Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 30% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 30Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 39 Mezcla (440Kg) 0.45 relación Agua Cemento con 30% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (440Kg) 0.45 RELACION AGUA CEMENTO CON 30% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |             |       | Para 30   |       |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | 9.15  | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 308       | 99.35       |       | 9.24      | 2.981 | 9.24                      |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 132       | 60.00       |       | 3.96      | 1.800 | 3.96                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 690       | 257.37      | 41.2% | 20.69     | 7.721 | 23.55                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 448       | 165.89      | 26.7% | 13.44     | 4.977 | 13.42                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 537       | 202.01      | 32.1% | 16.12     | 6.060 | 16.12                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 5.94      | 5.94  | 3.10                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 1.76      | 1.26        |       | 0.053     | 0.038 | 0.053                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.28% | 1.08            | 1.23      | 1.14        |       | 0.037     | 0.034 | 0.037                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |       |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |       |           |       |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 997.76    | 356.73      |       |           |       |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2315.99   | 1000        |       | 60.24     | 29.55 | 66.64                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 40 Humedad Mezcla 0.45 con 30% de ceniza

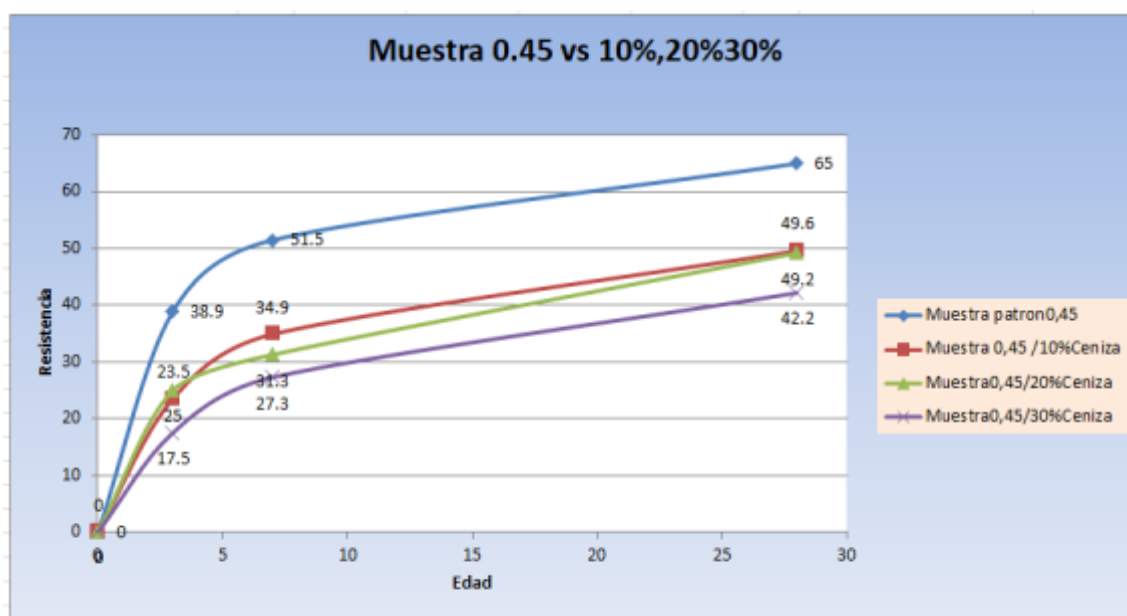
| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 14.30               | 0.50            | 13.80               | 2.86       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 1.10                | 1.20            | -0.10               | -0.01      |
| Grava 2  | 0.90                | 0.90            |                     |            |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 2.84       |

Fuente Elaboración propia

#### 4.1.4.1. Grafica de Resultados

Grafica de resultados en pruebas a compresión de concreto 0.55 relacion agua-cemento en una sustitucion de cenemto 10%, 20%, 30% por ceniza de la termo paipa, nivel de laboratorio

Gráfico 4 Muestra 0.45 vs 10%, 20%, 30%



Fuente Elaboración propia

Se plantea una mezcla patrón 0.45 relación agua-cemento con 440 Kg de cemento esto para 1m<sup>2</sup> de concreto inicialmente, a esto se saca en equivalente para trabajar 35 Lts de mezcla de concreto (excepto la relación 0,45 agua-cemento al 30% de sustitución la cual se trabajó con 30 Lts de mezcla).

#### 4.1.4.2. Análisis resultados

- En la muestra patrón de 0.45 relación agua-cemento se tiene 38.9Mpa a 3 días, un 51.5Mpa a 7 días y un 60Mpa a 28 días
- En la mezcla 0.45 con el 10% de ceniza de sustitución se tiene 23.5Mpa a 3 días, 34.9Mpa a 7 días 49.6Mpa, 28 días

- En la mezcla 0.45 con el 20% de ceniza de sustitución se tiene 25Mpa a 3 días, 31.3Mpa, 7 días 49.2Mpa y a 28 días
- En la mezcla 0.45 con el 30% de ceniza de sustitución se tiene 17.5Mpa a 3 días, 27.3Mpa 7 días, 42.2Mpa y a 28 días
- En la muestra 0,45 del 10% de sustitución se disminuye la resistencia un 32.2% a 7 días, a 28 días un 23.7%
- En la muestra 0,45 del 20% de sustitución se disminuye la resistencia un 39.2% a 7 días, a 28 días un 24.3%
- En la muestra 0,45 del 30% de sustitución se disminuye la resistencia un 47.0% a 7 días, a 28 días un 35.1%

#### **4.1.5. *Calculo de mezcla (440kg) al 0.45***

Cuadro diseño de mezcla patrón de 0.35 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y el cemento 566 Kg inicialmente calculado para 1 m<sup>2</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 41 Mezcla (566Kg) 0.35 relación Agua Cemento

| EJECUCION DE LA MEZCLA (566Kg) 0.35 RELACION AGUA-CEMENTO |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
|-----------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|--|
| Para <u>1</u> m3                                          |       |                 |           |             |       | Para 35   |             |                           |  |
| Material                                                  | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |  |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                     | 100%  | 3.10            | 566       | 182.49      |       | 19.80     | 6.387       | 19.80                     |  |
| Cemento 2 CENIZA                                          | 100%  | 3.10            |           |             |       |           |             |                           |  |
| Arena 1 ARENA Natural                                     | 100%  | 2.68            | 664       | 247.70      | 41.2% | 23.23     | 8.669       | 24.87                     |  |
| Arena 2                                                   |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Grava 1 GRAVA #7                                          | 100%  | 2.70            | 431       | 159.65      | 26.7% | 15.09     | 5.588       | 15.03                     |  |
| Grava 2 GRAVA #5                                          | 100%  | 2.66            | 517       | 194.41      | 32.1% | 18.10     | 6.804       | 18.10                     |  |
| Grava 3                                                   |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Agua TOTAL                                                |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 6.93      | 6.93        | 5.36                      |  |
| Agua AGUA de mezcla                                       |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Aditivo 1 Retarder                                        | 0.40% | 1.40            | 2.26      | 1.62        |       | 0.079     | 0.057       | 0.079                     |  |
| Aditivo 2 Plastol                                         | 0.22% | 1.08            | 1.24      | 1.15        |       | 0.044     | 0.040       | 0.044                     |  |
| Aditivo 3                                                 |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Aditivo 4                                                 |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| Aditivo 5                                                 |       |                 |           |             |       |           |             |                           |  |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                      |       |                 |           | 15.00       |       |           |             |                           |  |
| Total mortero                                             |       |                 | 1229.55   | 430.19      |       |           |             |                           |  |
| Totales                                                   |       |                 | 2379.25   | 1000        |       | 63.47     | 34.48       | 81.70                     |  |

Fuente Elaboración propia

Tabla 42 Humedad Mezcla 0.35

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 7.56                | 0.50            | 7.06                | 1.64       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 0.79                | 1.20            | -0.41               | -0.06      |
| Grava 2  | 0.88                | 0.90            | -0.02               | 0.00       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 1.57       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.35 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 566Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 10% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 43 Mezcla (566Kg) 0.35 relación Agua Cemento con 10% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (566Kg) 0.35 RELACION AGUA CEMENTO CON 10% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|--------------|--------------|-------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m3                                                                                       |       |                 |           |             |              | Para 35      |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |              | Peso (kg)    | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 <b>CEMENTO ART</b>                                                                           | 100%  | 3.10            | 509       | 164.32      |              | 17.83        | 5.751       | <b>17.83</b>              |
| Cemento 2 <b>CENIZA</b>                                                                                | 100%  | 2.20            | 57        | 25.73       |              | 1.98         | 0.900       | <b>1.98</b>               |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 656       | 244.80      | <b>41.2%</b> | 22.96        | 8.568       | <b>24.95</b>              |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 426       | 157.78      | <b>26.7%</b> | 14.91        | 5.522       | <b>14.88</b>              |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 511       | 192.14      | <b>32.1%</b> | 17.89        | 6.725       | <b>17.92</b>              |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
| <b>Agua TOTAL</b>                                                                                      |       | 1.00            | 198       | 198.00      |              | 6.93         | 6.93        | <b>4.94</b>               |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 2.26      | 1.62        |              | <b>0.079</b> | 0.057       | <b>0.079</b>              |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.12% | 1.08            | 0.68      | 0.63        |              | <b>0.024</b> | 0.022       | <b>0.024</b>              |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |              |              |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |              |              |             |                           |
| <b>Total mortero</b>                                                                                   |       |                 | 1165.47   | 409.12      |              |              |             |                           |
| <b>Totales</b>                                                                                         |       |                 | 2360.12   | <b>1000</b> |              | 64.78        | 34.48       | 80.61                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 44 Humedad Mezcla 0.35 con 10% de ceniza

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 9.15                | 0.50            | 8.65                | 1.99       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 1.02                | 1.20            | -0.18               | -0.03      |
| Grava 2  | 1.08                | 0.90            | 0.18                | 0.03       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 1.99       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.35 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 566Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 20% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se

halla la proporción equivalente para 35Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 45 Mezcla (566Kg) 0.35 relación Agua Cemento con 20% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (566Kg) 0.35 RELACION AGUA CEMENTO CON 20% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para <u>1</u> m <sup>3</sup>                                                                           |       |                 |           |             |       | Para 35   |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 453       | 146.06      |       | 15.85     | 5.112       | 15.85                     |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 113       | 51.45       |       | 3.96      | 1.801       | 3.96                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 647       | 241.34      | 41.2% | 22.64     | 8.447       | 24.22                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 420       | 155.55      | 26.7% | 14.70     | 5.444       | 14.64                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 504       | 189.42      | 32.1% | 17.64     | 6.630       | 17.61                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 6.93      | 6.93        | 5.43                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 2.26      | 1.62        |       | 0.079     | 0.057       | 0.079                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.30% | 1.08            | 1.70      | 1.57        |       | 0.059     | 0.055       | 0.059                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |       |           |             |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 1099.59   | 387.40      |       |           |             |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2338.60   | 1000        |       | 66.00     | 34.48       | 80.35                     |

Fuente Elaboración propia

Tabla 46 Humedad Mezcla 0.35 con 20% de ceniza

| HUMEDAD  |                   |               |                   |            |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|------------|
| Material | Humedad total (%) | Absorción (%) | Humedad libre (%) | Corrección |
| Arena 1  | 7.50              | 0.50          | 7.00              | 1.58       |
|          |                   |               |                   |            |
| Grava 1  | 0.80              | 1.20          | -0.40             | -0.06      |
| Grava 2  | 0.75              | 0.90          | -0.15             | -0.03      |
|          |                   |               |                   |            |
| Total    |                   |               |                   | 1.50       |

Fuente Elaboración propia

Cuadro de diseño de mezcla patrón 0.35 relación agua-cemento, donde el agua es un valor fijo de 198 Kg y 566Kg de cemento, a este valor del cemento se le sustituye el 30% de ceniza TERMOPAIPA (tercera unidad) esto inicialmente calculado para 1m<sup>3</sup> de concreto. Se halla la proporción equivalente para 30Lts de mezcla de concreto la cual se trabaja en laboratorio.

Tabla 47 Mezcla (566Kg) 0.35 relación Agua Cemento con 30% de ceniza

| EJECUCION DE LA MEZCLA (566Kg) 0.35 RELACION AGUA CEMENTO CON 30% DE SUSTITUCION DE CEMENTO POR CENIZA |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------------------|
| Para 1 m3                                                                                              |       |                 |           |             |       | Para 30   |             |                           |
| Material                                                                                               | %     | Densidad (kg/l) | Peso (kg) | Volumen (l) |       | Peso (kg) | Volumen (l) | Corrección x Humedad (kg) |
| Cemento 1 CEMENTO ART                                                                                  | 100%  | 3.10            | 396       | 127.81      |       | 11.89     | 3.834       | 11.89                     |
| Cemento 2 CENIZA                                                                                       | 100%  | 2.20            | 170       | 77.18       |       | 5.09      | 2.315       | 5.09                      |
| Arena 1 ARENA Natural                                                                                  | 100%  | 2.68            | 639       | 238.26      | 41.2% | 19.16     | 7.148       | 21.74                     |
| Arena 2                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Grava 1 GRAVA #7                                                                                       | 100%  | 2.70            | 415       | 153.57      | 26.7% | 12.44     | 4.607       | 12.43                     |
| Grava 2 GRAVA #5                                                                                       | 100%  | 2.66            | 497       | 187.01      | 32.1% | 14.92     | 5.610       | 14.92                     |
| Grava 3                                                                                                |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Agua TOTAL                                                                                             |       | 1.00            | 198       | 198.00      |       | 5.94      | 5.94        | 3.37                      |
| Agua AGUA de mezcla                                                                                    |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 1 Retarder                                                                                     | 0.40% | 1.40            | 2.26      | 1.62        |       | 0.068     | 0.049       | 0.068                     |
| Aditivo 2 Plastol                                                                                      | 0.30% | 1.08            | 1.70      | 1.57        |       | 0.051     | 0.047       | 0.051                     |
| Aditivo 3                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 4                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| Aditivo 5                                                                                              |       |                 |           |             |       |           |             |                           |
| AIRE ATRAPADO (1,5%)                                                                                   |       |                 |           | 15.00       |       |           |             |                           |
| Total mortero                                                                                          |       |                 | 1034.75   | 366.07      |       |           |             |                           |
| Totales                                                                                                |       |                 | 2318.59   | 1000        |       | 57.67     | 29.55       | 66.98                     |

Fuente Elaboración propia

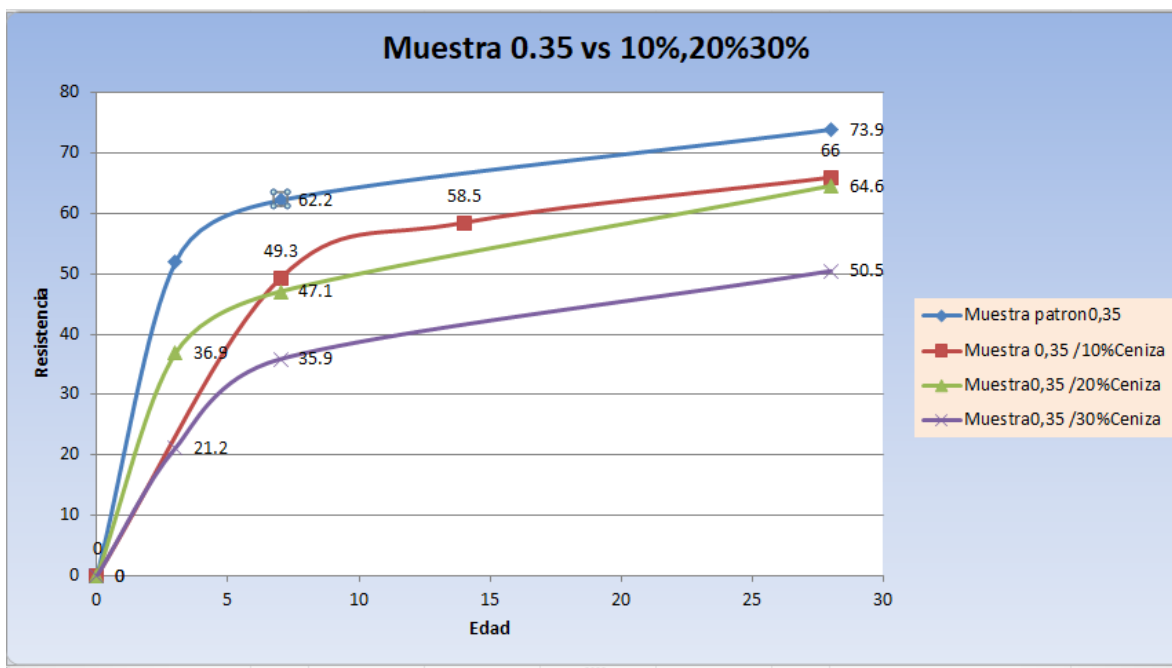
Tabla 48 Humedad Mezcla 0.35 con 30% de ceniza

| HUMEDAD  |                     |                 |                     |            |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Material | Humedad total ( % ) | Absorción ( % ) | Humedad libre ( % ) | Corrección |
| Arena 1  | 14.00               | 0.50            | 13.50               | 2.59       |
|          |                     |                 |                     |            |
| Grava 1  | 1.10                | 1.20            | -0.10               | -0.01      |
| Grava 2  | 0.90                | 0.90            |                     |            |
|          |                     |                 |                     |            |
| Total    |                     |                 |                     | 2.57       |

#### 4.1.5.1. Grafica de Resultados

Grafica de resultados en pruebas a compresión de concreto 0.55 relacion agua-cemento en una sustitucion de cemento 10%, 20%, 30% por ceniza de la termo paipa, nivel de laboratorio

Gráfico 5 Muestra 0,35 vs 10%, 20%, 30%



Fuente Elaboración propia

#### 4.1.5.2. Análisis resultados

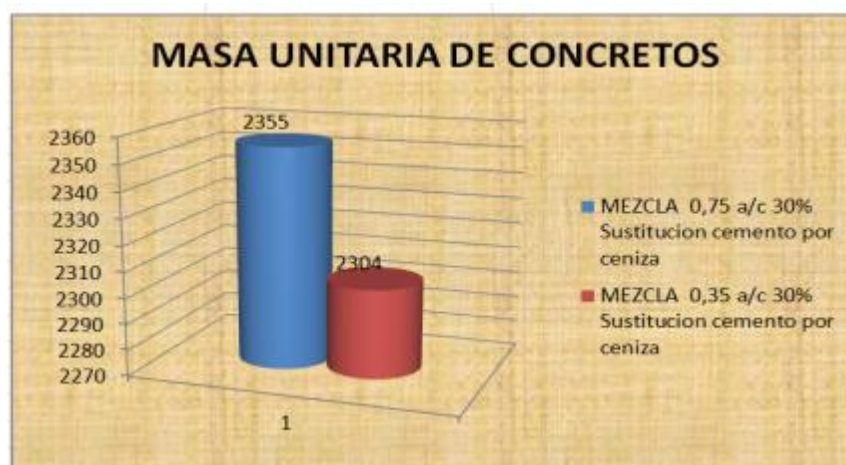
- En la muestra patrón 0.35 relación agua-cemento se tiene 52Mpa a 3 días, un 62.2Mpa a 7 días y un 73.9Mpa a 28 días
- En la mezcla 0.35 con el 10% de ceniza de sustitución se tiene 49.3Mpa a 7 días, 58.5Mpa a 14 días, 66Mpa, 28 días
- En la mezcla 0.35 con el 20% de ceniza de sustitución se tiene 36.9Mpa a 3 días, 47.1Mpa, 7 días 64.6Mpa y a 28días
- En la mezcla 0.35 con el 30% de ceniza de sustitución se tiene 21.2Mpa a 3días, 35.9Mpa 7 días, 50.5Mpa y a 28días

- En la muestra 0,35 del 10% de sustitución se disminuye la resistencia un 20.9% a 7 días, a 28 días un 10.7%
- En la muestra 0,35 del 20% de sustitución se disminuye la resistencia un 24.4% a 7 días, a 28 días un 12.6%
- En la muestra 0,35 del 30% de sustitución se disminuye la resistencia un 42.4% a 7 días, a 28 días un 31.7%

## 4.2. Masa Unitaria en Concretos

En el siguiente grafica representa la masa unitaria de dos mezclas de concreto con diferente relación agua-cemento con el mismo porcentaje de sustitución de cemento por ceniza, en la mezcla 0.75 relación agua-cemento con una sustitución de 30% de cemento por ceniza y una muestra 0.35 relación agua-cemento con una sustitución de 30% de cemento por ceniza en la cual podemos ver que las dos están cumpliendo con la NTC 3318 la cual nos especifica el peso que debe tener un  $M^3$  de concreto 2350Kg $\pm$ 100Kg.

Gráfico 6 Masa unitaria

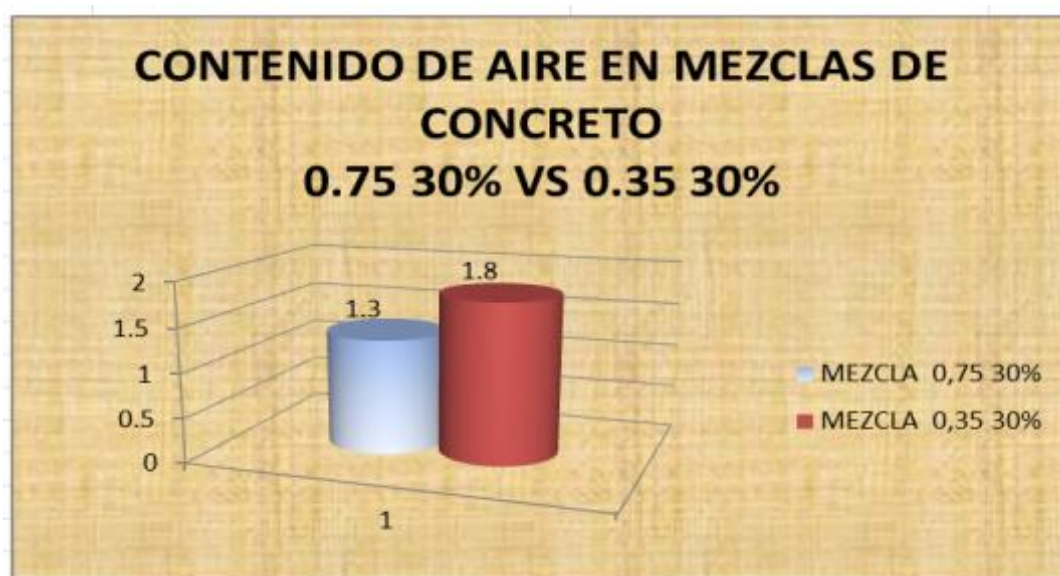


Elaboración propia

## 4.3. Contenido de aire en concretos

En esta grafica nos deja ver la masa unitaria de las mezclas 0.75 relación agua- cemento con una sustitución de 30% de cemento por ceniza con un contenido de aire 1.3% y una mezcla 0.35 relación agua-cemento con una sustitución de 30% de cemento por ceniza con un contenido de aire 1.8%. lo que nos lleva analizar que a mayor sustitución de cemento por ceniza es mayor el contenido de aire.

Gráfico 7 Contenido de aire en mezclas de concreto

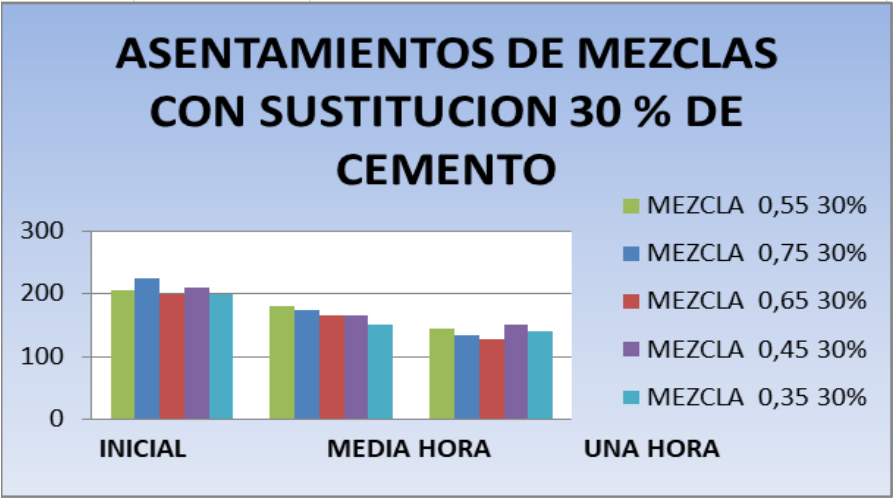


Fuente Elaboración propia

#### 4.4. Asentamiento “Manejabilidad”

En esta grafica podemos ver la manejabilidad de las durante una hora de las diferentes mezclas relación agua-cemento 0.75, 0.65, 0.55, 0.45, 0.35 con el mismo porcentaje de sustitución de cemento por ceniza de la Termopaipa.

Gráfico 8 Asentamientos de mezclas con sustitución 30% de cemento



Elaboración propia

4.5. Fallos obtenidos a compresión

Se realizó un registro fotográfico de las diferentes fallas obtenidas en las pruebas hechas en cada muestra bajo compresión.

Tabla 49 Registro fotográfico de las fallas obtenidas a compresión

| Imagen                                                                              | Tipo De Falla          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | Falla Vertical Central |
|                                                                                     | Falla Vertical         |

|                                                                                     |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|    |                              |
|   | Falla Vertical<br>Completo   |
|  | Fallo Diagonal<br>Central    |
|  | Falla Superior<br>Horizontal |
|                                                                                     | Fallo Cono                   |

|                                                                                    |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|   |                        |
|   | Fallo Diagonal         |
|  | Falla Total<br>Abanico |

Fuente Elaboración propia

**Cuadro comparativo con los tiempos de fraguado para concreto sin aditivos, con aditivos y con aditivos y ceniza a los diferentes porcentajes propuestos.**

En el siguiente cuadro vemos el comportamiento de fraguado de muestras de concreto mediante el ensayo de colorimetría.

| HORA           | Edad (hr) | ADITIVO<br>MAS CENIZA | CON<br>ADITIVOS | SIN<br>ADITIVOS | Ambiente |
|----------------|-----------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------|
| 04:34:19 p. m. | 0         | 22.9                  | 23.7            | 23.1            | 23.3     |
| 04:37:19 p. m. | 0.05      | 22.8                  | 23.3            | 23              | 23.3     |
| 04:40:19 p. m. | 0.1       | 22.9                  | 23              | 22.9            | 23.2     |
| 04:43:19 p. m. | 0.15      | 23                    | 22.6            | 22.8            | 23.1     |
| 04:46:19 p. m. | 0.2       | 23                    | 22.8            | 22.7            | 23.1     |
| 04:49:19 p. m. | 0.25      | 23.1                  | 22.9            | 22.7            | 23       |
| 04:52:19 p. m. | 0.3       | 23.2                  | 23              | 22.7            | 23.1     |
| 04:55:19 p. m. | 0.35      | 23.2                  | 23              | 22.8            | 23.3     |
| 04:58:19 p. m. | 0.4       | 23.2                  | 23              | 22.9            | 23.3     |
| 05:01:19 p. m. | 0.45      | 23.3                  | 23.1            | 22.9            | 23.4     |
| 05:04:19 p. m. | 0.5       | 23.3                  | 23.1            | 23              | 23.4     |
| 05:07:19 p. m. | 0.55      | 23.3                  | 23.1            | 23              | 23.4     |
| 05:10:19 p. m. | 0.6       | 23.4                  | 23.2            | 23.1            | 23.4     |
| 05:13:19 p. m. | 0.65      | 23.4                  | 23.2            | 23.1            | 23.4     |
| 05:16:19 p. m. | 0.7       | 23.4                  | 23.2            | 23.1            | 23.5     |
| 05:19:19 p. m. | 0.75      | 23.4                  | 23.3            | 23.2            | 23.4     |
| 05:22:19 p. m. | 0.8       | 23.5                  | 23.3            | 23.2            | 23.4     |
| 05:25:19 p. m. | 0.85      | 23.5                  | 23.3            | 23.2            | 23.4     |
| 05:28:19 p. m. | 0.9       | 23.5                  | 23.3            | 23.2            | 23.4     |
| 05:31:19 p. m. | 0.95      | 23.5                  | 23.4            | 23.3            | 23.4     |
| 05:34:19 p. m. | 1         | 23.5                  | 23.4            | 23.3            | 23.4     |
| 05:37:19 p. m. | 1.05      | 23.5                  | 23.4            | 23.3            | 23.4     |
| 05:40:19 p. m. | 1.1       | 23.6                  | 23.4            | 23.3            | 23.4     |
| 05:43:19 p. m. | 1.15      | 23.6                  | 23.4            | 23.3            | 23.4     |
| 05:46:19 p. m. | 1.2       | 23.6                  | 23.4            | 23.4            | 23.3     |
| 05:49:19 p. m. | 1.25      | 23.6                  | 23.4            | 23.4            | 23.3     |
| 05:52:19 p. m. | 1.3       | 23.6                  | 23.5            | 23.4            | 23.3     |
| 05:55:19 p. m. | 1.35      | 23.6                  | 23.5            | 23.4            | 23.3     |
| 05:58:19 p. m. | 1.4       | 23.6                  | 23.5            | 23.4            | 23.3     |
| 06:01:19 p. m. | 1.45      | 23.6                  | 23.5            | 23.4            | 23.5     |
| 06:04:19 p. m. | 1.5       | 23.6                  | 23.5            | 23.4            | 23.6     |
| 06:07:19 p. m. | 1.55      | 23.6                  | 23.5            | 23.4            | 23.8     |
| 06:10:19 p. m. | 1.6       | 23.6                  | 23.5            | 23.5            | 23.9     |
| 06:13:19 p. m. | 1.65      | 23.7                  | 23.5            | 23.5            | 24       |
| 06:16:19 p. m. | 1.7       | 23.7                  | 23.6            | 23.6            | 24.1     |
| 06:19:19 p. m. | 1.75      | 23.7                  | 23.6            | 23.6            | 24.1     |
| 06:22:19 p. m. | 1.8       | 23.8                  | 23.6            | 23.6            | 24.2     |
| 06:25:19 p. m. | 1.85      | 23.8                  | 23.6            | 23.7            | 24.3     |
| 06:28:19 p. m. | 1.9       | 23.8                  | 23.7            | 23.7            | 24.3     |
| 06:31:19 p. m. | 1.95      | 23.8                  | 23.7            | 23.7            | 24.4     |

|                |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|
| 06:34:19 p. m. | 2    | 23.9 | 23.7 | 23.8 | 24.4 |
| 06:37:19 p. m. | 2.05 | 23.9 | 23.8 | 23.8 | 24.5 |
| 06:40:19 p. m. | 2.1  | 24   | 23.8 | 23.9 | 24.5 |
| 06:43:19 p. m. | 2.15 | 24   | 23.8 | 23.9 | 24.5 |
| 06:46:19 p. m. | 2.2  | 24   | 23.9 | 23.9 | 24.5 |
| 06:49:19 p. m. | 2.25 | 24.1 | 23.9 | 24   | 24.7 |
| 06:52:19 p. m. | 2.3  | 24.1 | 23.9 | 24   | 24.7 |
| 06:55:19 p. m. | 2.35 | 24.1 | 23.9 | 24   | 24.7 |
| 06:58:19 p. m. | 2.4  | 24.1 | 24   | 24   | 24.8 |
| 07:01:19 p. m. | 2.45 | 24.2 | 24   | 24.1 | 24.8 |
| 07:04:19 p. m. | 2.5  | 24.2 | 24   | 24.1 | 24.8 |
| 07:07:19 p. m. | 2.55 | 24.2 | 24   | 24.2 | 24.9 |
| 07:10:19 p. m. | 2.6  | 24.2 | 24.1 | 24.2 | 24.9 |
| 07:13:19 p. m. | 2.65 | 24.3 | 24.1 | 24.2 | 24.9 |
| 07:16:19 p. m. | 2.7  | 24.3 | 24.1 | 24.2 | 24.9 |
| 07:19:19 p. m. | 2.75 | 24.3 | 24.1 | 24.3 | 24.9 |
| 07:22:19 p. m. | 2.8  | 24.4 | 24.1 | 24.3 | 25   |
| 07:25:19 p. m. | 2.85 | 24.4 | 24.2 | 24.3 | 25   |
| 07:28:19 p. m. | 2.9  | 24.4 | 24.2 | 24.3 | 25   |
| 07:31:19 p. m. | 2.95 | 24.4 | 24.2 | 24.4 | 25   |
| 07:34:19 p. m. | 3    | 24.5 | 24.3 | 24.4 | 25   |
| 07:37:19 p. m. | 3.05 | 24.5 | 24.3 | 24.4 | 25.1 |
| 07:40:19 p. m. | 3.1  | 24.5 | 24.3 | 24.5 | 25.1 |
| 07:43:19 p. m. | 3.15 | 24.5 | 24.3 | 24.5 | 25.1 |
| 07:46:19 p. m. | 3.2  | 24.7 | 24.3 | 24.5 | 25.2 |
| 07:49:19 p. m. | 3.25 | 24.7 | 24.4 | 24.5 | 25.2 |
| 07:52:19 p. m. | 3.3  | 24.7 | 24.4 | 24.7 | 25.2 |
| 07:55:19 p. m. | 3.35 | 24.7 | 24.4 | 24.7 | 25.2 |
| 07:58:19 p. m. | 3.4  | 24.8 | 24.4 | 24.7 | 25.2 |
| 08:01:19 p. m. | 3.45 | 24.8 | 24.4 | 24.7 | 25.2 |
| 08:04:19 p. m. | 3.5  | 24.8 | 24.5 | 24.8 | 25.3 |
| 08:07:19 p. m. | 3.55 | 24.8 | 24.5 | 24.8 | 25.3 |
| 08:10:19 p. m. | 3.6  | 24.9 | 24.5 | 24.8 | 25.3 |
| 08:13:19 p. m. | 3.65 | 24.9 | 24.5 | 24.8 | 25.3 |
| 08:16:19 p. m. | 3.7  | 24.9 | 24.5 | 24.8 | 25.3 |
| 08:19:19 p. m. | 3.75 | 24.9 | 24.5 | 24.8 | 25.4 |
| 08:22:19 p. m. | 3.8  | 25   | 24.7 | 24.9 | 25.4 |
| 08:25:19 p. m. | 3.85 | 25   | 24.7 | 24.9 | 25.4 |
| 08:28:19 p. m. | 3.9  | 25   | 24.7 | 24.9 | 25.5 |
| 08:31:19 p. m. | 3.95 | 25.1 | 24.7 | 25   | 25.5 |
| 08:34:19 p. m. | 4    | 25.1 | 24.7 | 25   | 25.5 |
| 08:37:19 p. m. | 4.05 | 25.1 | 24.8 | 25   | 25.5 |
| 08:40:19 p. m. | 4.1  | 25.1 | 24.8 | 25   | 25.5 |
| 08:43:19 p. m. | 4.15 | 25.2 | 24.8 | 25   | 25.6 |

|                |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|
| 08:46:19 p. m. | 4.2  | 25.2 | 24.8 | 25.1 | 25.6 |
| 08:49:19 p. m. | 4.25 | 25.2 | 24.8 | 25.1 | 25.6 |
| 08:52:19 p. m. | 4.3  | 25.3 | 24.9 | 25.1 | 25.6 |
| 08:55:19 p. m. | 4.35 | 25.3 | 24.9 | 25.1 | 25.7 |
| 08:58:19 p. m. | 4.4  | 25.3 | 24.9 | 25.1 | 25.7 |
| 09:01:19 p. m. | 4.45 | 25.4 | 24.9 | 25.2 | 25.7 |
| 09:04:19 p. m. | 4.5  | 25.4 | 24.9 | 25.2 | 25.7 |
| 09:07:19 p. m. | 4.55 | 25.4 | 24.9 | 25.2 | 25.8 |
| 09:10:19 p. m. | 4.6  | 25.5 | 25   | 25.2 | 25.8 |
| 09:13:19 p. m. | 4.65 | 25.5 | 25   | 25.2 | 25.8 |
| 09:16:19 p. m. | 4.7  | 25.6 | 25   | 25.2 | 25.9 |
| 09:19:19 p. m. | 4.75 | 25.6 | 25   | 25.3 | 25.9 |
| 09:22:19 p. m. | 4.8  | 25.7 | 25.1 | 25.3 | 25.9 |
| 09:25:19 p. m. | 4.85 | 25.7 | 25.1 | 25.3 | 26   |
| 09:28:19 p. m. | 4.9  | 25.8 | 25.1 | 25.3 | 26   |
| 09:31:19 p. m. | 4.95 | 25.8 | 25.1 | 25.3 | 26   |
| 09:34:19 p. m. | 5    | 25.9 | 25.1 | 25.4 | 26.1 |
| 09:37:19 p. m. | 5.05 | 26   | 25.2 | 25.4 | 26.1 |
| 09:40:19 p. m. | 5.1  | 26   | 25.2 | 25.4 | 26.1 |
| 09:43:19 p. m. | 5.15 | 26.1 | 25.2 | 25.4 | 26.2 |
| 09:46:19 p. m. | 5.2  | 26.1 | 25.2 | 25.4 | 26.2 |
| 09:49:19 p. m. | 5.25 | 26.2 | 25.2 | 25.5 | 26.3 |
| 09:52:19 p. m. | 5.3  | 26.2 | 25.2 | 25.5 | 26.3 |
| 09:55:19 p. m. | 5.35 | 26.3 | 25.3 | 25.5 | 26.3 |
| 09:58:19 p. m. | 5.4  | 26.4 | 25.3 | 25.5 | 26.4 |
| 10:01:19 p. m. | 5.45 | 26.4 | 25.3 | 25.5 | 26.4 |
| 10:04:19 p. m. | 5.5  | 26.5 | 25.3 | 25.5 | 26.4 |
| 10:07:19 p. m. | 5.55 | 26.6 | 25.3 | 25.5 | 26.5 |
| 10:10:19 p. m. | 5.6  | 26.6 | 25.4 | 25.6 | 26.5 |
| 10:13:19 p. m. | 5.65 | 26.7 | 25.4 | 25.6 | 26.6 |
| 10:16:19 p. m. | 5.7  | 26.8 | 25.4 | 25.6 | 26.6 |
| 10:19:19 p. m. | 5.75 | 26.9 | 25.5 | 25.6 | 26.6 |
| 10:22:19 p. m. | 5.8  | 26.9 | 25.5 | 25.6 | 26.7 |
| 10:25:19 p. m. | 5.85 | 27   | 25.5 | 25.7 | 26.7 |
| 10:28:19 p. m. | 5.9  | 27.1 | 25.5 | 25.7 | 26.8 |
| 10:31:19 p. m. | 5.95 | 27.2 | 25.6 | 25.7 | 26.9 |
| 10:34:19 p. m. | 6    | 27.3 | 25.6 | 25.7 | 26.9 |
| 10:37:19 p. m. | 6.05 | 27.3 | 25.6 | 25.7 | 27   |
| 10:40:19 p. m. | 6.1  | 27.4 | 25.6 | 25.8 | 27   |
| 10:43:19 p. m. | 6.15 | 27.5 | 25.7 | 25.8 | 27   |
| 10:46:19 p. m. | 6.2  | 27.6 | 25.7 | 25.8 | 27.1 |
| 10:49:19 p. m. | 6.25 | 27.7 | 25.7 | 25.8 | 27.1 |
| 10:52:19 p. m. | 6.3  | 27.8 | 25.8 | 25.8 | 27.2 |
| 10:55:19 p. m. | 6.35 | 27.9 | 25.8 | 25.9 | 27.3 |

|                |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|
| 10:58:19 p. m. | 6.4  | 28   | 25.9 | 25.9 | 27.3 |
| 11:01:19 p. m. | 6.45 | 28.1 | 25.9 | 25.9 | 27.4 |
| 11:04:19 p. m. | 6.5  | 28.1 | 25.9 | 25.9 | 27.4 |
| 11:07:19 p. m. | 6.55 | 28.2 | 26   | 25.9 | 27.5 |
| 11:10:19 p. m. | 6.6  | 28.3 | 26   | 26   | 27.5 |
| 11:13:19 p. m. | 6.65 | 28.4 | 26.1 | 26   | 27.6 |
| 11:16:19 p. m. | 6.7  | 28.5 | 26.1 | 26   | 27.6 |
| 11:19:19 p. m. | 6.75 | 28.6 | 26.2 | 26   | 27.6 |
| 11:22:19 p. m. | 6.8  | 28.7 | 26.2 | 26.1 | 27.6 |
| 11:25:19 p. m. | 6.85 | 28.8 | 26.2 | 26.1 | 27.7 |
| 11:28:19 p. m. | 6.9  | 28.9 | 26.3 | 26.1 | 27.6 |
| 11:31:19 p. m. | 6.95 | 29   | 26.3 | 26.1 | 27.7 |
| 11:34:19 p. m. | 7    | 29.1 | 26.4 | 26.1 | 27.8 |
| 11:37:19 p. m. | 7.05 | 29.2 | 26.5 | 26.2 | 27.7 |
| 11:40:19 p. m. | 7.1  | 29.3 | 26.5 | 26.2 | 27.8 |
| 11:43:19 p. m. | 7.15 | 29.4 | 26.6 | 26.2 | 27.8 |
| 11:46:19 p. m. | 7.2  | 29.5 | 26.6 | 26.2 | 27.8 |
| 11:49:19 p. m. | 7.25 | 29.5 | 26.7 | 26.3 | 27.9 |
| 11:52:19 p. m. | 7.3  | 29.6 | 26.7 | 26.3 | 27.9 |
| 11:55:19 p. m. | 7.35 | 29.7 | 26.8 | 26.3 | 28   |
| 11:58:19 p. m. | 7.4  | 29.8 | 26.9 | 26.3 | 28   |
| 12:01:19 a. m. | 7.45 | 29.9 | 26.9 | 26.4 | 28.1 |
| 12:04:19 a. m. | 7.5  | 30.1 | 27   | 26.4 | 28.1 |
| 12:07:19 a. m. | 7.55 | 30.2 | 27.1 | 26.4 | 28.2 |
| 12:10:19 a. m. | 7.6  | 30.3 | 27.2 | 26.4 | 28.2 |
| 12:13:19 a. m. | 7.65 | 30.4 | 27.2 | 26.5 | 28.2 |
| 12:16:19 a. m. | 7.7  | 30.5 | 27.3 | 26.5 | 28.3 |
| 12:19:19 a. m. | 7.75 | 30.6 | 27.4 | 26.5 | 28.4 |
| 12:22:19 a. m. | 7.8  | 30.7 | 27.4 | 26.5 | 28.3 |
| 12:25:19 a. m. | 7.85 | 30.7 | 27.5 | 26.6 | 28.4 |
| 12:28:19 a. m. | 7.9  | 30.8 | 27.6 | 26.6 | 28.5 |
| 12:31:19 a. m. | 7.95 | 30.9 | 27.7 | 26.6 | 28.5 |
| 12:34:19 a. m. | 8    | 31   | 27.8 | 26.7 | 28.5 |
| 12:37:19 a. m. | 8.05 | 31.1 | 27.8 | 26.7 | 28.5 |
| 12:40:19 a. m. | 8.1  | 31.2 | 27.9 | 26.7 | 28.6 |
| 12:43:19 a. m. | 8.15 | 31.3 | 28   | 26.7 | 28.8 |
| 12:46:19 a. m. | 8.2  | 31.4 | 28.1 | 26.8 | 28.8 |
| 12:49:19 a. m. | 8.25 | 31.5 | 28.2 | 26.8 | 28.8 |
| 12:52:19 a. m. | 8.3  | 31.5 | 28.3 | 26.8 | 28.9 |
| 12:55:19 a. m. | 8.35 | 31.6 | 28.4 | 26.9 | 29   |
| 12:58:19 a. m. | 8.4  | 31.7 | 28.5 | 26.9 | 29.1 |
| 01:01:19 a. m. | 8.45 | 31.8 | 28.6 | 26.9 | 29   |
| 01:04:19 a. m. | 8.5  | 31.9 | 28.6 | 26.9 | 29   |
| 01:07:19 a. m. | 8.55 | 32   | 28.7 | 27   | 29.1 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 01:10:19 a. m. | 8.6   | 32   | 28.8 | 27   | 29   |
| 01:13:19 a. m. | 8.65  | 32.1 | 28.9 | 27   | 29   |
| 01:16:19 a. m. | 8.7   | 32.2 | 29   | 27.1 | 29.2 |
| 01:19:19 a. m. | 8.75  | 32.3 | 29.1 | 27.1 | 29.3 |
| 01:22:19 a. m. | 8.8   | 32.3 | 29.2 | 27.1 | 29.3 |
| 01:25:19 a. m. | 8.85  | 32.4 | 29.3 | 27.2 | 29.2 |
| 01:28:19 a. m. | 8.9   | 32.5 | 29.4 | 27.2 | 29.3 |
| 01:31:19 a. m. | 8.95  | 32.5 | 29.5 | 27.2 | 29.3 |
| 01:34:19 a. m. | 9     | 32.6 | 29.6 | 27.3 | 29.3 |
| 01:37:19 a. m. | 9.05  | 32.7 | 29.7 | 27.3 | 29.5 |
| 01:40:19 a. m. | 9.1   | 32.8 | 29.8 | 27.3 | 29.6 |
| 01:43:19 a. m. | 9.15  | 32.8 | 29.9 | 27.4 | 29.7 |
| 01:46:19 a. m. | 9.2   | 32.9 | 30.1 | 27.4 | 29.7 |
| 01:49:19 a. m. | 9.25  | 32.9 | 30.2 | 27.4 | 29.7 |
| 01:52:19 a. m. | 9.3   | 33   | 30.3 | 27.5 | 29.8 |
| 01:55:19 a. m. | 9.35  | 33.1 | 30.4 | 27.5 | 29.7 |
| 01:58:19 a. m. | 9.4   | 33.1 | 30.5 | 27.6 | 29.7 |
| 02:01:19 a. m. | 9.45  | 33.2 | 30.6 | 27.6 | 29.8 |
| 02:04:19 a. m. | 9.5   | 33.2 | 30.7 | 27.6 | 29.8 |
| 02:07:19 a. m. | 9.55  | 33.3 | 30.8 | 27.7 | 29.8 |
| 02:10:19 a. m. | 9.6   | 33.3 | 30.9 | 27.7 | 29.9 |
| 02:13:19 a. m. | 9.65  | 33.4 | 31   | 27.7 | 29.9 |
| 02:16:19 a. m. | 9.7   | 33.4 | 31.2 | 27.8 | 29.8 |
| 02:19:19 a. m. | 9.75  | 33.4 | 31.3 | 27.8 | 29.8 |
| 02:22:19 a. m. | 9.8   | 33.5 | 31.4 | 27.9 | 29.8 |
| 02:25:19 a. m. | 9.85  | 33.5 | 31.5 | 27.9 | 29.6 |
| 02:28:19 a. m. | 9.9   | 33.5 | 31.6 | 28   | 29.5 |
| 02:31:19 a. m. | 9.95  | 33.6 | 31.7 | 28   | 29.5 |
| 02:34:19 a. m. | 10    | 33.6 | 31.8 | 28   | 29.4 |
| 02:37:19 a. m. | 10.05 | 33.7 | 31.9 | 28.1 | 29.4 |
| 02:40:19 a. m. | 10.1  | 33.7 | 32   | 28.1 | 29.5 |
| 02:43:19 a. m. | 10.15 | 33.7 | 32.1 | 28.2 | 29.5 |
| 02:46:19 a. m. | 10.2  | 33.7 | 32.2 | 28.3 | 29.5 |
| 02:49:19 a. m. | 10.25 | 33.8 | 32.3 | 28.3 | 29.5 |
| 02:52:19 a. m. | 10.3  | 33.8 | 32.4 | 28.4 | 29.5 |
| 02:55:19 a. m. | 10.35 | 33.8 | 32.5 | 28.4 | 29.5 |
| 02:58:19 a. m. | 10.4  | 33.8 | 32.6 | 28.5 | 29.4 |
| 03:01:19 a. m. | 10.45 | 33.8 | 32.7 | 28.5 | 29.4 |
| 03:04:19 a. m. | 10.5  | 33.8 | 32.8 | 28.6 | 29.4 |
| 03:07:19 a. m. | 10.55 | 33.8 | 32.9 | 28.6 | 29.4 |
| 03:10:19 a. m. | 10.6  | 33.8 | 33   | 28.7 | 29.3 |
| 03:13:19 a. m. | 10.65 | 33.8 | 33.1 | 28.7 | 29.4 |
| 03:16:19 a. m. | 10.7  | 33.8 | 33.2 | 28.8 | 29.5 |
| 03:19:19 a. m. | 10.75 | 33.8 | 33.2 | 28.8 | 29.3 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 03:22:19 a. m. | 10.8  | 33.8 | 33.3 | 28.9 | 29.3 |
| 03:25:19 a. m. | 10.85 | 33.8 | 33.4 | 29   | 29.3 |
| 03:28:19 a. m. | 10.9  | 33.8 | 33.5 | 29   | 29.3 |
| 03:31:19 a. m. | 10.95 | 33.8 | 33.6 | 29.1 | 29.2 |
| 03:34:19 a. m. | 11    | 33.8 | 33.7 | 29.1 | 29.2 |
| 03:37:19 a. m. | 11.05 | 33.8 | 33.7 | 29.2 | 29.2 |
| 03:40:19 a. m. | 11.1  | 33.8 | 33.8 | 29.3 | 29.2 |
| 03:43:19 a. m. | 11.15 | 33.8 | 33.9 | 29.4 | 29.2 |
| 03:46:19 a. m. | 11.2  | 33.8 | 34   | 29.4 | 29.2 |
| 03:49:19 a. m. | 11.25 | 33.7 | 34   | 29.5 | 29.2 |
| 03:52:19 a. m. | 11.3  | 33.7 | 34.1 | 29.5 | 29.2 |
| 03:55:19 a. m. | 11.35 | 33.7 | 34.2 | 29.6 | 29.2 |
| 03:58:19 a. m. | 11.4  | 33.7 | 34.2 | 29.7 | 29.2 |
| 04:01:19 a. m. | 11.45 | 33.7 | 34.3 | 29.8 | 29.2 |
| 04:04:19 a. m. | 11.5  | 33.6 | 34.3 | 29.8 | 29.2 |
| 04:07:19 a. m. | 11.55 | 33.6 | 34.4 | 29.9 | 29.2 |
| 04:10:19 a. m. | 11.6  | 33.6 | 34.4 | 30.1 | 29.2 |
| 04:13:19 a. m. | 11.65 | 33.6 | 34.4 | 30.1 | 29.2 |
| 04:16:19 a. m. | 11.7  | 33.6 | 34.5 | 30.2 | 29.2 |
| 04:19:19 a. m. | 11.75 | 33.6 | 34.5 | 30.3 | 29.2 |
| 04:22:19 a. m. | 11.8  | 33.5 | 34.5 | 30.4 | 29.2 |
| 04:25:19 a. m. | 11.85 | 33.5 | 34.6 | 30.4 | 29.2 |
| 04:28:19 a. m. | 11.9  | 33.5 | 34.6 | 30.5 | 29.2 |
| 04:31:19 a. m. | 11.95 | 33.5 | 34.6 | 30.6 | 29.2 |
| 04:34:19 a. m. | 12    | 33.5 | 34.6 | 30.7 | 29.2 |
| 04:37:19 a. m. | 12.05 | 33.4 | 34.6 | 30.8 | 29.2 |
| 04:40:19 a. m. | 12.1  | 33.4 | 34.6 | 30.8 | 29.2 |
| 04:43:19 a. m. | 12.15 | 33.4 | 34.6 | 30.9 | 29.2 |
| 04:46:19 a. m. | 12.2  | 33.4 | 34.6 | 31   | 29.2 |
| 04:49:19 a. m. | 12.25 | 33.3 | 34.6 | 31.1 | 29.1 |
| 04:52:19 a. m. | 12.3  | 33.3 | 34.6 | 31.2 | 29.1 |
| 04:55:19 a. m. | 12.35 | 33.3 | 34.6 | 31.3 | 29.1 |
| 04:58:19 a. m. | 12.4  | 33.3 | 34.6 | 31.4 | 29.2 |
| 05:01:19 a. m. | 12.45 | 33.2 | 34.6 | 31.4 | 29.2 |
| 05:04:19 a. m. | 12.5  | 33.2 | 34.6 | 31.5 | 29.1 |
| 05:07:19 a. m. | 12.55 | 33.2 | 34.6 | 31.6 | 29.1 |
| 05:10:19 a. m. | 12.6  | 33.2 | 34.6 | 31.7 | 29.2 |
| 05:13:19 a. m. | 12.65 | 33.1 | 34.5 | 31.8 | 29.1 |
| 05:16:19 a. m. | 12.7  | 33.1 | 34.5 | 31.9 | 29.1 |
| 05:19:19 a. m. | 12.75 | 33.1 | 34.5 | 32   | 29.1 |
| 05:22:19 a. m. | 12.8  | 33.1 | 34.5 | 32.1 | 29.1 |
| 05:25:19 a. m. | 12.85 | 33.1 | 34.4 | 32.2 | 29.2 |
| 05:28:19 a. m. | 12.9  | 33   | 34.4 | 32.3 | 29.2 |
| 05:31:19 a. m. | 12.95 | 33   | 34.4 | 32.4 | 29.2 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 05:34:19 a. m. | 13    | 33   | 34.4 | 32.5 | 29.2 |
| 05:37:19 a. m. | 13.05 | 32.9 | 34.3 | 32.6 | 29.2 |
| 05:40:19 a. m. | 13.1  | 32.9 | 34.3 | 32.7 | 29.2 |
| 05:43:19 a. m. | 13.15 | 32.9 | 34.3 | 32.8 | 29.2 |
| 05:46:19 a. m. | 13.2  | 32.9 | 34.3 | 32.9 | 29.2 |
| 05:49:19 a. m. | 13.25 | 32.9 | 34.2 | 33   | 29.2 |
| 05:52:19 a. m. | 13.3  | 32.8 | 34.2 | 33.1 | 29.2 |
| 05:55:19 a. m. | 13.35 | 32.8 | 34.2 | 33.1 | 29.2 |
| 05:58:19 a. m. | 13.4  | 32.8 | 34.1 | 33.3 | 29.2 |
| 06:01:19 a. m. | 13.45 | 32.7 | 34.1 | 33.3 | 29.1 |
| 06:04:19 a. m. | 13.5  | 32.7 | 34.1 | 33.4 | 29.2 |
| 06:07:19 a. m. | 13.55 | 32.7 | 34   | 33.5 | 29.3 |
| 06:10:19 a. m. | 13.6  | 32.7 | 34   | 33.7 | 29.3 |
| 06:13:19 a. m. | 13.65 | 32.7 | 34   | 33.8 | 29.4 |
| 06:16:19 a. m. | 13.7  | 32.7 | 33.9 | 33.9 | 29.4 |
| 06:19:19 a. m. | 13.75 | 32.7 | 33.9 | 34   | 29.3 |
| 06:22:19 a. m. | 13.8  | 32.7 | 33.9 | 34.1 | 29.2 |
| 06:25:19 a. m. | 13.85 | 32.6 | 33.9 | 34.2 | 29.2 |
| 06:28:19 a. m. | 13.9  | 32.6 | 33.8 | 34.3 | 29.1 |
| 06:31:19 a. m. | 13.95 | 32.6 | 33.8 | 34.4 | 29   |
| 06:34:19 a. m. | 14    | 32.5 | 33.8 | 34.5 | 29   |
| 06:37:19 a. m. | 14.05 | 32.5 | 33.7 | 34.6 | 28.9 |
| 06:40:19 a. m. | 14.1  | 32.5 | 33.7 | 34.7 | 28.9 |
| 06:43:19 a. m. | 14.15 | 32.4 | 33.6 | 34.7 | 28.9 |
| 06:46:19 a. m. | 14.2  | 32.4 | 33.6 | 34.8 | 28.9 |
| 06:49:19 a. m. | 14.25 | 32.4 | 33.5 | 34.9 | 28.8 |
| 06:52:19 a. m. | 14.3  | 32.4 | 33.5 | 34.9 | 28.8 |
| 06:55:19 a. m. | 14.35 | 32.3 | 33.4 | 35   | 28.8 |
| 06:58:19 a. m. | 14.4  | 32.3 | 33.4 | 35.1 | 28.7 |
| 07:01:19 a. m. | 14.45 | 32.3 | 33.4 | 35.1 | 28.7 |
| 07:04:19 a. m. | 14.5  | 32.2 | 33.3 | 35.2 | 28.7 |
| 07:07:19 a. m. | 14.55 | 32.2 | 33.3 | 35.2 | 28.7 |
| 07:10:19 a. m. | 14.6  | 32.1 | 33.2 | 35.3 | 28.7 |
| 07:13:19 a. m. | 14.65 | 32.1 | 33.2 | 35.3 | 28.7 |
| 07:16:19 a. m. | 14.7  | 32.1 | 33.2 | 35.3 | 28.7 |
| 07:19:19 a. m. | 14.75 | 32.1 | 33.1 | 35.3 | 28.7 |
| 07:22:19 a. m. | 14.8  | 32.1 | 33   | 35.3 | 28.6 |
| 07:25:19 a. m. | 14.85 | 32   | 33   | 35.3 | 28.6 |
| 07:28:19 a. m. | 14.9  | 32   | 33   | 35.3 | 28.5 |
| 07:31:19 a. m. | 14.95 | 31.9 | 32.9 | 35.3 | 28.5 |
| 07:34:19 a. m. | 15    | 31.9 | 32.9 | 35.3 | 28.5 |
| 07:37:19 a. m. | 15.05 | 31.9 | 32.8 | 35.2 | 28.5 |
| 07:40:19 a. m. | 15.1  | 31.9 | 32.8 | 35.2 | 28.3 |
| 07:43:19 a. m. | 15.15 | 31.9 | 32.7 | 35.2 | 28.3 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 07:46:19 a. m. | 15.2  | 31.8 | 32.7 | 35.1 | 28.3 |
| 07:49:19 a. m. | 15.25 | 31.7 | 32.6 | 35   | 28.3 |
| 07:52:19 a. m. | 15.3  | 31.7 | 32.6 | 35   | 28.2 |
| 07:55:19 a. m. | 15.35 | 31.7 | 32.6 | 35   | 28.2 |
| 07:58:19 a. m. | 15.4  | 31.7 | 32.5 | 34.9 | 28.1 |
| 08:01:19 a. m. | 15.45 | 31.6 | 32.4 | 34.8 | 28.1 |
| 08:04:19 a. m. | 15.5  | 31.6 | 32.4 | 34.8 | 28   |
| 08:07:19 a. m. | 15.55 | 31.5 | 32.3 | 34.7 | 28   |
| 08:10:19 a. m. | 15.6  | 31.5 | 32.3 | 34.7 | 28   |
| 08:13:19 a. m. | 15.65 | 31.5 | 32.2 | 34.6 | 27.9 |
| 08:16:19 a. m. | 15.7  | 31.4 | 32.2 | 34.5 | 28   |
| 08:19:19 a. m. | 15.75 | 31.4 | 32.1 | 34.5 | 28   |
| 08:22:19 a. m. | 15.8  | 31.3 | 32.1 | 34.4 | 28   |
| 08:25:19 a. m. | 15.85 | 31.3 | 32   | 34.3 | 28.1 |
| 08:28:19 a. m. | 15.9  | 31.3 | 32   | 34.3 | 28.1 |
| 08:31:19 a. m. | 15.95 | 31.2 | 32   | 34.2 | 28   |
| 08:34:19 a. m. | 16    | 31.2 | 31.9 | 34.2 | 28   |
| 08:37:19 a. m. | 16.05 | 31.2 | 31.9 | 34.1 | 28   |
| 08:40:19 a. m. | 16.1  | 31.2 | 31.9 | 34   | 27.9 |
| 08:43:19 a. m. | 16.15 | 31.1 | 31.8 | 34   | 27.9 |
| 08:46:19 a. m. | 16.2  | 31.1 | 31.8 | 33.9 | 27.9 |
| 08:49:19 a. m. | 16.25 | 31.1 | 31.7 | 33.8 | 27.9 |
| 08:52:19 a. m. | 16.3  | 31   | 31.7 | 33.8 | 27.8 |
| 08:55:19 a. m. | 16.35 | 31   | 31.6 | 33.7 | 27.8 |
| 08:58:19 a. m. | 16.4  | 31   | 31.6 | 33.6 | 27.7 |
| 09:01:19 a. m. | 16.45 | 31   | 31.5 | 33.6 | 27.8 |
| 09:04:19 a. m. | 16.5  | 30.9 | 31.5 | 33.5 | 27.8 |
| 09:07:19 a. m. | 16.55 | 30.9 | 31.5 | 33.5 | 27.7 |
| 09:10:19 a. m. | 16.6  | 30.8 | 31.4 | 33.4 | 27.7 |
| 09:13:19 a. m. | 16.65 | 30.8 | 31.4 | 33.4 | 27.6 |
| 09:16:19 a. m. | 16.7  | 30.8 | 31.4 | 33.3 | 27.6 |
| 09:19:19 a. m. | 16.75 | 30.8 | 31.3 | 33.2 | 27.6 |
| 09:22:19 a. m. | 16.8  | 30.7 | 31.3 | 33.2 | 27.6 |
| 09:25:19 a. m. | 16.85 | 30.7 | 31.2 | 33.1 | 27.5 |
| 09:28:19 a. m. | 16.9  | 30.6 | 31.2 | 33   | 27.5 |
| 09:31:19 a. m. | 16.95 | 30.6 | 31.2 | 33   | 27.5 |
| 09:34:19 a. m. | 17    | 30.6 | 31.1 | 32.9 | 27.5 |
| 09:37:19 a. m. | 17.05 | 30.6 | 31.1 | 32.9 | 27.5 |
| 09:40:19 a. m. | 17.1  | 30.5 | 31   | 32.8 | 27.5 |
| 09:43:19 a. m. | 17.15 | 30.5 | 31   | 32.8 | 27.6 |
| 09:46:19 a. m. | 17.2  | 30.4 | 31   | 32.7 | 27.7 |
| 09:49:19 a. m. | 17.25 | 30.4 | 30.9 | 32.7 | 27.7 |
| 09:52:19 a. m. | 17.3  | 30.4 | 30.9 | 32.6 | 27.6 |
| 09:55:19 a. m. | 17.35 | 30.4 | 30.9 | 32.6 | 27.6 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 09:58:19 a. m. | 17.4  | 30.4 | 30.9 | 32.6 | 27.6 |
| 10:01:19 a. m. | 17.45 | 30.3 | 30.8 | 32.5 | 27.5 |
| 10:04:19 a. m. | 17.5  | 30.3 | 30.8 | 32.4 | 27.6 |
| 10:07:19 a. m. | 17.55 | 30.3 | 30.8 | 32.4 | 27.6 |
| 10:10:19 a. m. | 17.6  | 30.3 | 30.7 | 32.4 | 27.6 |
| 10:13:19 a. m. | 17.65 | 30.3 | 30.7 | 32.3 | 27.6 |
| 10:16:19 a. m. | 17.7  | 30.2 | 30.7 | 32.3 | 27.5 |
| 10:19:19 a. m. | 17.75 | 30.2 | 30.6 | 32.2 | 27.6 |
| 10:22:19 a. m. | 17.8  | 30.2 | 30.6 | 32.2 | 27.5 |
| 10:25:19 a. m. | 17.85 | 30.2 | 30.6 | 32.2 | 27.5 |
| 10:28:19 a. m. | 17.9  | 30.1 | 30.5 | 32.1 | 27.5 |
| 10:31:19 a. m. | 17.95 | 30.1 | 30.5 | 32.1 | 27.5 |
| 10:34:19 a. m. | 18    | 30.1 | 30.5 | 32.1 | 27.5 |
| 10:37:19 a. m. | 18.05 | 30.1 | 30.5 | 32   | 27.5 |
| 10:40:19 a. m. | 18.1  | 30.1 | 30.5 | 32   | 27.5 |
| 10:43:19 a. m. | 18.15 | 29.9 | 30.4 | 32   | 27.5 |
| 10:46:19 a. m. | 18.2  | 29.9 | 30.4 | 31.9 | 27.5 |
| 10:49:19 a. m. | 18.25 | 29.9 | 30.4 | 31.9 | 27.6 |
| 10:52:19 a. m. | 18.3  | 29.9 | 30.4 | 31.9 | 27.6 |
| 10:55:19 a. m. | 18.35 | 29.9 | 30.3 | 31.9 | 27.6 |
| 10:58:19 a. m. | 18.4  | 29.9 | 30.3 | 31.8 | 27.5 |
| 11:01:19 a. m. | 18.45 | 29.8 | 30.3 | 31.8 | 27.5 |
| 11:04:19 a. m. | 18.5  | 29.8 | 30.3 | 31.7 | 27.5 |
| 11:07:19 a. m. | 18.55 | 29.8 | 30.3 | 31.7 | 27.6 |
| 11:10:19 a. m. | 18.6  | 29.8 | 30.2 | 31.7 | 27.6 |
| 11:13:19 a. m. | 18.65 | 29.8 | 30.2 | 31.7 | 27.6 |
| 11:16:19 a. m. | 18.7  | 29.8 | 30.2 | 31.7 | 27.6 |
| 11:19:19 a. m. | 18.75 | 29.8 | 30.2 | 31.6 | 27.5 |
| 11:22:19 a. m. | 18.8  | 29.7 | 30.2 | 31.6 | 27.5 |
| 11:25:19 a. m. | 18.85 | 29.7 | 30.1 | 31.6 | 27.5 |
| 11:28:19 a. m. | 18.9  | 29.7 | 30.1 | 31.5 | 27.5 |
| 11:31:19 a. m. | 18.95 | 29.6 | 30.1 | 31.5 | 27.6 |
| 11:34:19 a. m. | 19    | 29.6 | 30.1 | 31.5 | 27.6 |
| 11:37:19 a. m. | 19.05 | 29.6 | 30.1 | 31.5 | 27.6 |
| 11:40:19 a. m. | 19.1  | 29.6 | 29.9 | 31.5 | 27.6 |
| 11:43:19 a. m. | 19.15 | 29.6 | 29.9 | 31.4 | 27.6 |
| 11:46:19 a. m. | 19.2  | 29.6 | 29.9 | 31.4 | 27.6 |
| 11:49:19 a. m. | 19.25 | 29.6 | 29.9 | 31.4 | 27.6 |
| 11:52:19 a. m. | 19.3  | 29.6 | 29.9 | 31.4 | 27.6 |
| 11:55:19 a. m. | 19.35 | 29.5 | 29.9 | 31.4 | 27.5 |
| 11:58:19 a. m. | 19.4  | 29.5 | 29.8 | 31.4 | 27.5 |
| 12:01:19 p. m. | 19.45 | 29.5 | 29.8 | 31.3 | 27.5 |
| 12:04:19 p. m. | 19.5  | 29.5 | 29.8 | 31.3 | 27.5 |
| 12:07:19 p. m. | 19.55 | 29.4 | 29.8 | 31.3 | 27.5 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 12:10:19 p. m. | 19.6  | 29.4 | 29.7 | 31.2 | 27.5 |
| 12:13:19 p. m. | 19.65 | 29.4 | 29.7 | 31.2 | 27.5 |
| 12:16:19 p. m. | 19.7  | 29.4 | 29.7 | 31.2 | 27.5 |
| 12:19:19 p. m. | 19.75 | 29.4 | 29.7 | 31.2 | 27.4 |
| 12:22:19 p. m. | 19.8  | 29.4 | 29.6 | 31.2 | 27.4 |
| 12:25:19 p. m. | 19.85 | 29.3 | 29.6 | 31.1 | 27.4 |
| 12:28:19 p. m. | 19.9  | 29.3 | 29.6 | 31.1 | 27.3 |
| 12:31:19 p. m. | 19.95 | 29.3 | 29.6 | 31.1 | 27.4 |
| 12:34:19 p. m. | 20    | 29.3 | 29.6 | 31.1 | 27.4 |
| 12:37:19 p. m. | 20.05 | 29.2 | 29.6 | 31.1 | 27.4 |
| 12:40:19 p. m. | 20.1  | 29.2 | 29.5 | 31.1 | 27.4 |
| 12:43:19 p. m. | 20.15 | 29.2 | 29.5 | 31   | 27.5 |
| 12:46:19 p. m. | 20.2  | 29.2 | 29.5 | 31   | 27.4 |
| 12:49:19 p. m. | 20.25 | 29.2 | 29.5 | 31   | 27.4 |
| 12:52:19 p. m. | 20.3  | 29.2 | 29.5 | 31   | 27.4 |
| 12:55:19 p. m. | 20.35 | 29.2 | 29.5 | 31   | 27.4 |
| 12:58:19 p. m. | 20.4  | 29.2 | 29.5 | 30.9 | 27.4 |
| 01:01:19 p. m. | 20.45 | 29.2 | 29.4 | 30.9 | 27.5 |
| 01:04:19 p. m. | 20.5  | 29.2 | 29.4 | 30.9 | 27.5 |
| 01:07:19 p. m. | 20.55 | 29.1 | 29.4 | 30.9 | 27.5 |
| 01:10:19 p. m. | 20.6  | 29.1 | 29.4 | 30.9 | 27.5 |
| 01:13:19 p. m. | 20.65 | 29.1 | 29.4 | 30.9 | 27.4 |
| 01:16:19 p. m. | 20.7  | 29.1 | 29.4 | 30.9 | 27.4 |
| 01:19:19 p. m. | 20.75 | 29.1 | 29.4 | 30.8 | 27.4 |
| 01:22:19 p. m. | 20.8  | 29.1 | 29.4 | 30.8 | 27.4 |
| 01:25:19 p. m. | 20.85 | 29.1 | 29.3 | 30.8 | 27.4 |
| 01:28:19 p. m. | 20.9  | 29.1 | 29.3 | 30.8 | 27.4 |
| 01:31:19 p. m. | 20.95 | 29.1 | 29.3 | 30.8 | 27.3 |
| 01:34:19 p. m. | 21    | 29.1 | 29.3 | 30.7 | 27.3 |
| 01:37:19 p. m. | 21.05 | 29.1 | 29.3 | 30.7 | 27.4 |
| 01:40:19 p. m. | 21.1  | 29   | 29.3 | 30.7 | 27.3 |
| 01:43:19 p. m. | 21.15 | 29   | 29.2 | 30.7 | 27.3 |
| 01:46:19 p. m. | 21.2  | 29   | 29.2 | 30.7 | 27.3 |
| 01:49:19 p. m. | 21.25 | 29   | 29.2 | 30.7 | 27.3 |
| 01:52:19 p. m. | 21.3  | 29   | 29.2 | 30.6 | 27.3 |
| 01:55:19 p. m. | 21.35 | 29   | 29.2 | 30.6 | 27.3 |
| 01:58:19 p. m. | 21.4  | 29   | 29.2 | 30.6 | 27.3 |
| 02:01:19 p. m. | 21.45 | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.4 |
| 02:04:19 p. m. | 21.5  | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.4 |
| 02:07:19 p. m. | 21.55 | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.5 |
| 02:10:19 p. m. | 21.6  | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.5 |
| 02:13:19 p. m. | 21.65 | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.5 |
| 02:16:19 p. m. | 21.7  | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.6 |
| 02:19:19 p. m. | 21.75 | 28.9 | 29.1 | 30.6 | 27.6 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 02:22:19 p. m. | 21.8  | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:25:19 p. m. | 21.85 | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:28:19 p. m. | 21.9  | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:31:19 p. m. | 21.95 | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:34:19 p. m. | 22    | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:37:19 p. m. | 22.05 | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:40:19 p. m. | 22.1  | 28.9 | 29.1 | 30.5 | 27.6 |
| 02:43:19 p. m. | 22.15 | 28.8 | 29   | 30.5 | 27.7 |
| 02:46:19 p. m. | 22.2  | 28.9 | 29   | 30.5 | 27.7 |
| 02:49:19 p. m. | 22.25 | 28.8 | 29   | 30.5 | 27.7 |
| 02:52:19 p. m. | 22.3  | 28.8 | 29   | 30.5 | 27.7 |
| 02:55:19 p. m. | 22.35 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.6 |
| 02:58:19 p. m. | 22.4  | 28.8 | 29   | 30.5 | 27.7 |
| 03:01:19 p. m. | 22.45 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:04:19 p. m. | 22.5  | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:07:19 p. m. | 22.55 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:10:19 p. m. | 22.6  | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:13:19 p. m. | 22.65 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:16:19 p. m. | 22.7  | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:19:19 p. m. | 22.75 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:22:19 p. m. | 22.8  | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:25:19 p. m. | 22.85 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:28:19 p. m. | 22.9  | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:31:19 p. m. | 22.95 | 28.8 | 29   | 30.4 | 27.7 |
| 03:34:19 p. m. | 23    | 28.8 | 29   | 30.3 | 27.7 |
| 03:37:19 p. m. | 23.05 | 28.8 | 29   | 30.3 | 27.7 |
| 03:40:19 p. m. | 23.1  | 28.8 | 29   | 30.3 | 27.7 |
| 03:43:19 p. m. | 23.15 | 28.9 | 29   | 30.3 | 27.7 |
| 03:46:19 p. m. | 23.2  | 28.9 | 29   | 30.3 | 27.6 |
| 03:49:19 p. m. | 23.25 | 28.9 | 29   | 30.3 | 27.5 |
| 03:52:19 p. m. | 23.3  | 28.8 | 29   | 30.3 | 27.4 |
| 03:55:19 p. m. | 23.35 | 28.8 | 29   | 30.2 | 27.4 |
| 03:58:19 p. m. | 23.4  | 28.8 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:01:19 p. m. | 23.45 | 28.8 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:04:19 p. m. | 23.5  | 28.8 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:07:19 p. m. | 23.55 | 28.7 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:10:19 p. m. | 23.6  | 28.7 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:13:19 p. m. | 23.65 | 28.7 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:16:19 p. m. | 23.7  | 28.7 | 28.9 | 30.2 | 27.4 |
| 04:19:19 p. m. | 23.75 | 28.7 | 28.9 | 30.1 | 27.3 |
| 04:22:19 p. m. | 23.8  | 28.7 | 28.9 | 30.1 | 27.3 |
| 04:25:19 p. m. | 23.85 | 28.7 | 28.9 | 30.1 | 27.3 |
| 04:28:19 p. m. | 23.9  | 28.7 | 28.8 | 30.1 | 27.4 |
| 04:31:19 p. m. | 23.95 | 28.7 | 28.9 | 30.1 | 27.3 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 04:34:19 p. m. | 24    | 28.6 | 28.8 | 30.1 | 27.3 |
| 04:37:19 p. m. | 24.05 | 28.7 | 28.8 | 30.1 | 27.3 |
| 04:40:19 p. m. | 24.1  | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 27.3 |
| 04:43:19 p. m. | 24.15 | 28.6 | 28.8 | 30.1 | 27.3 |
| 04:46:19 p. m. | 24.2  | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 27.2 |
| 04:49:19 p. m. | 24.25 | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 27.2 |
| 04:52:19 p. m. | 24.3  | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 27.2 |
| 04:55:19 p. m. | 24.35 | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 27.1 |
| 04:58:19 p. m. | 24.4  | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 27.1 |
| 05:01:19 p. m. | 24.45 | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 27   |
| 05:04:19 p. m. | 24.5  | 28.6 | 28.7 | 29.8 | 27   |
| 05:07:19 p. m. | 24.55 | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.1 |
| 05:10:19 p. m. | 24.6  | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.4 |
| 05:13:19 p. m. | 24.65 | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.5 |
| 05:16:19 p. m. | 24.7  | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.6 |
| 05:19:19 p. m. | 24.75 | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.7 |
| 05:22:19 p. m. | 24.8  | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.8 |
| 05:25:19 p. m. | 24.85 | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.8 |
| 05:28:19 p. m. | 24.9  | 28.5 | 28.7 | 29.8 | 27.9 |
| 05:31:19 p. m. | 24.95 | 28.6 | 28.7 | 29.8 | 27.9 |
| 05:34:19 p. m. | 25    | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 27.9 |
| 05:37:19 p. m. | 25.05 | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 28   |
| 05:40:19 p. m. | 25.1  | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 28   |
| 05:43:19 p. m. | 25.15 | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 28   |
| 05:46:19 p. m. | 25.2  | 28.6 | 28.8 | 29.8 | 28   |
| 05:49:19 p. m. | 25.25 | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 28   |
| 05:52:19 p. m. | 25.3  | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 28.1 |
| 05:55:19 p. m. | 25.35 | 28.6 | 28.8 | 29.9 | 28.1 |
| 05:58:19 p. m. | 25.4  | 28.7 | 28.8 | 29.9 | 28.1 |
| 06:01:19 p. m. | 25.45 | 28.7 | 28.8 | 29.9 | 28.1 |
| 06:04:19 p. m. | 25.5  | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:07:19 p. m. | 25.55 | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:10:19 p. m. | 25.6  | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:13:19 p. m. | 25.65 | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:16:19 p. m. | 25.7  | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:19:19 p. m. | 25.75 | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:22:19 p. m. | 25.8  | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:25:19 p. m. | 25.85 | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.1 |
| 06:28:19 p. m. | 25.9  | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:31:19 p. m. | 25.95 | 28.7 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:34:19 p. m. | 26    | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:37:19 p. m. | 26.05 | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:40:19 p. m. | 26.1  | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:43:19 p. m. | 26.15 | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 06:46:19 p. m. | 26.2  | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:49:19 p. m. | 26.25 | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:52:19 p. m. | 26.3  | 28.8 | 28.9 | 29.9 | 28.2 |
| 06:55:19 p. m. | 26.35 | 28.8 | 29   | 29.9 | 28.2 |
| 06:58:19 p. m. | 26.4  | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:01:19 p. m. | 26.45 | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:04:19 p. m. | 26.5  | 28.8 | 29   | 29.9 | 28.2 |
| 07:07:19 p. m. | 26.55 | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:10:19 p. m. | 26.6  | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:13:19 p. m. | 26.65 | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:16:19 p. m. | 26.7  | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:19:19 p. m. | 26.75 | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:22:19 p. m. | 26.8  | 28.8 | 29   | 29.9 | 28.2 |
| 07:25:19 p. m. | 26.85 | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:28:19 p. m. | 26.9  | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:31:19 p. m. | 26.95 | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:34:19 p. m. | 27    | 28.8 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:37:19 p. m. | 27.05 | 28.9 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:40:19 p. m. | 27.1  | 28.9 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:43:19 p. m. | 27.15 | 28.8 | 29   | 29.9 | 28.2 |
| 07:46:19 p. m. | 27.2  | 28.8 | 29   | 29.9 | 28.2 |
| 07:49:19 p. m. | 27.25 | 28.9 | 29   | 30.1 | 28.2 |
| 07:52:19 p. m. | 27.3  | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 07:55:19 p. m. | 27.35 | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 07:58:19 p. m. | 27.4  | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:01:19 p. m. | 27.45 | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:04:19 p. m. | 27.5  | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:07:19 p. m. | 27.55 | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:10:19 p. m. | 27.6  | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:13:19 p. m. | 27.65 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:16:19 p. m. | 27.7  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:19:19 p. m. | 27.75 | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:22:19 p. m. | 27.8  | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:25:19 p. m. | 27.85 | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:28:19 p. m. | 27.9  | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:31:19 p. m. | 27.95 | 28.9 | 29.1 | 30.1 | 28.2 |
| 08:34:19 p. m. | 28    | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:37:19 p. m. | 28.05 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:40:19 p. m. | 28.1  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:43:19 p. m. | 28.15 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:46:19 p. m. | 28.2  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:49:19 p. m. | 28.25 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:52:19 p. m. | 28.3  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 08:55:19 p. m. | 28.35 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 08:58:19 p. m. | 28.4  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.2 |
| 09:01:19 p. m. | 28.45 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:04:19 p. m. | 28.5  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:07:19 p. m. | 28.55 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:10:19 p. m. | 28.6  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:13:19 p. m. | 28.65 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:16:19 p. m. | 28.7  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:19:19 p. m. | 28.75 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:22:19 p. m. | 28.8  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:25:19 p. m. | 28.85 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:28:19 p. m. | 28.9  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:31:19 p. m. | 28.95 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:34:19 p. m. | 29    | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:37:19 p. m. | 29.05 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:40:19 p. m. | 29.1  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:43:19 p. m. | 29.15 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:46:19 p. m. | 29.2  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:49:19 p. m. | 29.25 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:52:19 p. m. | 29.3  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 09:55:19 p. m. | 29.35 | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 09:58:19 p. m. | 29.4  | 28.9 | 29.1 | 29.9 | 28.1 |
| 10:01:19 p. m. | 29.45 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 10:04:19 p. m. | 29.5  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 10:07:19 p. m. | 29.55 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 10:10:19 p. m. | 29.6  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 10:13:19 p. m. | 29.65 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 10:16:19 p. m. | 29.7  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:19:19 p. m. | 29.75 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28.1 |
| 10:22:19 p. m. | 29.8  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:25:19 p. m. | 29.85 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:28:19 p. m. | 29.9  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:31:19 p. m. | 29.95 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:34:19 p. m. | 30    | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:37:19 p. m. | 30.05 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:40:19 p. m. | 30.1  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:43:19 p. m. | 30.15 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:46:19 p. m. | 30.2  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:49:19 p. m. | 30.25 | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:52:19 p. m. | 30.3  | 28.9 | 29.1 | 29.8 | 28   |
| 10:55:19 p. m. | 30.35 | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 28   |
| 10:58:19 p. m. | 30.4  | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 28   |
| 11:01:19 p. m. | 30.45 | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 28   |
| 11:04:19 p. m. | 30.5  | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 28   |
| 11:07:19 p. m. | 30.55 | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 28   |

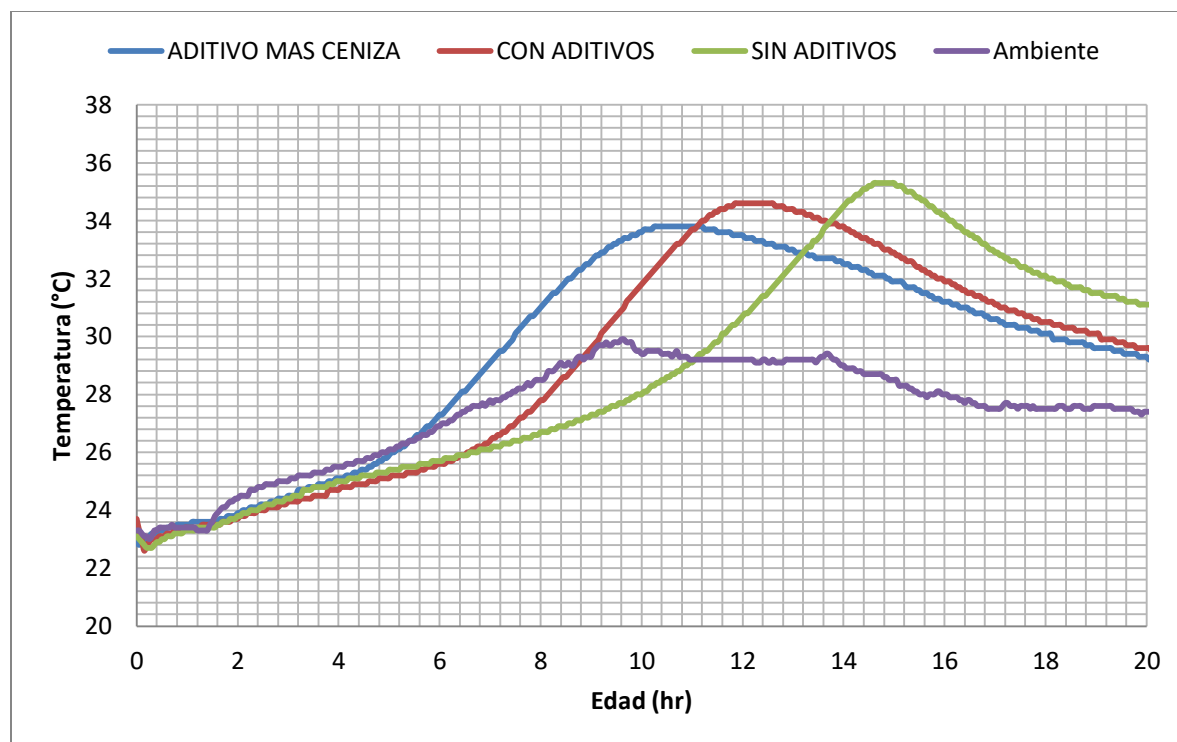
|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 11:10:19 p. m. | 30.6  | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:13:19 p. m. | 30.65 | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:16:19 p. m. | 30.7  | 28.8 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:19:19 p. m. | 30.75 | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:22:19 p. m. | 30.8  | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:25:19 p. m. | 30.85 | 28.8 | 29   | 29.7 | 27.9 |
| 11:28:19 p. m. | 30.9  | 28.9 | 29   | 29.7 | 27.9 |
| 11:31:19 p. m. | 30.95 | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:34:19 p. m. | 31    | 28.9 | 29.1 | 29.7 | 27.9 |
| 11:37:19 p. m. | 31.05 | 28.8 | 29   | 29.7 | 27.9 |
| 11:40:19 p. m. | 31.1  | 28.9 | 29   | 29.6 | 27.9 |
| 11:43:19 p. m. | 31.15 | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.9 |
| 11:46:19 p. m. | 31.2  | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.9 |
| 11:49:19 p. m. | 31.25 | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.9 |
| 11:52:19 p. m. | 31.3  | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.9 |
| 11:55:19 p. m. | 31.35 | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.9 |
| 11:58:19 p. m. | 31.4  | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.8 |
| 12:01:19 a. m. | 31.45 | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.8 |
| 12:04:19 a. m. | 31.5  | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.8 |
| 12:07:19 a. m. | 31.55 | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.8 |
| 12:10:19 a. m. | 31.6  | 28.8 | 29   | 29.6 | 27.8 |
| 12:13:19 a. m. | 31.65 | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:16:19 a. m. | 31.7  | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:19:19 a. m. | 31.75 | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:22:19 a. m. | 31.8  | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:25:19 a. m. | 31.85 | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:28:19 a. m. | 31.9  | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:31:19 a. m. | 31.95 | 28.8 | 29   | 29.5 | 27.8 |
| 12:34:19 a. m. | 32    | 28.8 | 28.9 | 29.5 | 27.8 |
| 12:37:19 a. m. | 32.05 | 28.8 | 28.9 | 29.5 | 27.8 |
| 12:40:19 a. m. | 32.1  | 28.8 | 28.9 | 29.5 | 27.8 |
| 12:43:19 a. m. | 32.15 | 28.7 | 28.9 | 29.5 | 27.8 |
| 12:46:19 a. m. | 32.2  | 28.7 | 28.9 | 29.5 | 27.8 |
| 12:49:19 a. m. | 32.25 | 28.8 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 12:52:19 a. m. | 32.3  | 28.7 | 28.9 | 29.5 | 27.7 |
| 12:55:19 a. m. | 32.35 | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 12:58:19 a. m. | 32.4  | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:01:19 a. m. | 32.45 | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:04:19 a. m. | 32.5  | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:07:19 a. m. | 32.55 | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:10:19 a. m. | 32.6  | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:13:19 a. m. | 32.65 | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:16:19 a. m. | 32.7  | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:19:19 a. m. | 32.75 | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 01:22:19 a. m. | 32.8  | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:25:19 a. m. | 32.85 | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:28:19 a. m. | 32.9  | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:31:19 a. m. | 32.95 | 28.7 | 28.9 | 29.3 | 27.7 |
| 01:34:19 a. m. | 33    | 28.7 | 28.9 | 29.4 | 27.7 |
| 01:37:19 a. m. | 33.05 | 28.7 | 28.8 | 29.3 | 27.7 |
| 01:40:19 a. m. | 33.1  | 28.7 | 28.8 | 29.3 | 27.7 |
| 01:43:19 a. m. | 33.15 | 28.7 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 01:46:19 a. m. | 33.2  | 28.7 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 01:49:19 a. m. | 33.25 | 28.7 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 01:52:19 a. m. | 33.3  | 28.7 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 01:55:19 a. m. | 33.35 | 28.6 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 01:58:19 a. m. | 33.4  | 28.6 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 02:01:19 a. m. | 33.45 | 28.6 | 28.8 | 29.3 | 27.6 |
| 02:04:19 a. m. | 33.5  | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.6 |
| 02:07:19 a. m. | 33.55 | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.6 |
| 02:10:19 a. m. | 33.6  | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.6 |
| 02:13:19 a. m. | 33.65 | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.6 |
| 02:16:19 a. m. | 33.7  | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.6 |
| 02:19:19 a. m. | 33.75 | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.6 |
| 02:22:19 a. m. | 33.8  | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.5 |
| 02:25:19 a. m. | 33.85 | 28.6 | 28.8 | 29.2 | 27.5 |
| 02:28:19 a. m. | 33.9  | 28.6 | 28.7 | 29.2 | 27.5 |
| 02:31:19 a. m. | 33.95 | 28.6 | 28.7 | 29.2 | 27.5 |
| 02:34:19 a. m. | 34    | 28.6 | 28.7 | 29.2 | 27.5 |
| 02:37:19 a. m. | 34.05 | 28.6 | 28.7 | 29.2 | 27.5 |
| 02:40:19 a. m. | 34.1  | 28.5 | 28.7 | 29.2 | 27.5 |
| 02:43:19 a. m. | 34.15 | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.5 |
| 02:46:19 a. m. | 34.2  | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.5 |
| 02:49:19 a. m. | 34.25 | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.5 |
| 02:52:19 a. m. | 34.3  | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.5 |
| 02:55:19 a. m. | 34.35 | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.5 |
| 02:58:19 a. m. | 34.4  | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.4 |
| 03:01:19 a. m. | 34.45 | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.4 |
| 03:04:19 a. m. | 34.5  | 28.5 | 28.6 | 29.1 | 27.4 |
| 03:07:19 a. m. | 34.55 | 28.5 | 28.7 | 29.1 | 27.4 |
| 03:10:19 a. m. | 34.6  | 28.5 | 28.6 | 29.1 | 27.4 |
| 03:13:19 a. m. | 34.65 | 28.5 | 28.6 | 29.1 | 27.4 |
| 03:16:19 a. m. | 34.7  | 28.5 | 28.6 | 29.1 | 27.4 |
| 03:19:19 a. m. | 34.75 | 28.5 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:22:19 a. m. | 34.8  | 28.5 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:25:19 a. m. | 34.85 | 28.5 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:28:19 a. m. | 34.9  | 28.4 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:31:19 a. m. | 34.95 | 28.4 | 28.6 | 29   | 27.4 |

|                |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|
| 03:34:19 a. m. | 35    | 28.4 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:37:19 a. m. | 35.05 | 28.4 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:40:19 a. m. | 35.1  | 28.4 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:43:19 a. m. | 35.15 | 28.4 | 28.6 | 29   | 27.4 |
| 03:46:19 a. m. | 35.2  | 28.4 | 28.5 | 29   | 27.3 |
| 03:49:19 a. m. | 35.25 | 28.4 | 28.5 | 29   | 27.3 |
| 03:52:19 a. m. | 35.3  | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 03:55:19 a. m. | 35.35 | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 03:58:19 a. m. | 35.4  | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:01:19 a. m. | 35.45 | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:04:19 a. m. | 35.5  | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:07:19 a. m. | 35.55 | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:10:19 a. m. | 35.6  | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:13:19 a. m. | 35.65 | 28.3 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:16:19 a. m. | 35.7  | 28.4 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:19:19 a. m. | 35.75 | 28.3 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:22:19 a. m. | 35.8  | 28.3 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |
| 04:25:19 a. m. | 35.85 | 28.3 | 28.5 | 28.9 | 27.3 |

Fuente: propia

Grafica de la representación de fraguado de las diferentes mezclas



Fuente: propia

### **Criterios para la decisión de usar los porcentajes de reemplazo de cemento.**

Estas porcentajes se planearon teniendo en cuenta las relaciones agua-cemento analizadas debido a que se quería ver el comportamiento de la ceniza termo Paipa (Tercera unidad) a mayor y menor cantidad de cemento en diferentes relaciones agua – cemento y porcentajes de sustitución de cemento por ceniza de la termo Paipa con el fin de tener mayor información y mayores datos a la hora someter estas muestras a compresión y analizar, finalmente determinando el comportamiento de la ceniza en el concreto ya que de acuerdo a la información encontrada en la investigación no se había trabajado con diferentes relaciones agua-cemento. Por cual se plantean las diferentes mezclas.

**Hacer un cuadro comparativo con las temperaturas del concreto para cada una de las mezclas analizadas.**

Es de notar que los datos son variables a diversos factores como lo es la temperatura ambiente, la temperatura de los agregados, la cantidad de sustitución de ceniza, la cuantía de cemento que tiene cada diseño ya que el cemento en contacto con el agua tiene una reacción isotérmica.

| <b>CUADRO DE TEMPERATURAS REGISTRADAS EN LAS DIFERENTES SUSTITUCIONES DE CENIZA</b> |                |                |                |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Relaciones Agua-Cemento                                                             | Muestra patrón | 10 % de ceniza | 20 % de ceniza | 30% de ceniza |
| 0.75 relación agua-cemento                                                          | 16.2           | 16.5           | 18.3           | 18.1          |
| 0.65 relación agua-cemento                                                          | 16.4           | 17.5           | 17.3           | 19.0          |
| 0.55 relación agua-cemento                                                          | 17.0           | 17.7           | 19.1           | 21.0          |
| 0.45 relación agua-cemento                                                          | 17.4           | 17.2           | 19.5           | 20.5          |
| 0.35 relación agua-cemento                                                          | 18.2           | 17.7           | 18.4           | 21.5          |

Fuente: propia

**Usos de concreto de 3000 psi = 21Mpa**

Estos concretos se pueden utilizar en fundidas de placas, columnas, vigas y en cementaciones de casa unifamiliares y de acuerdo a los requerimientos del Ing estructural el cual determina la resistencia específica de cada elemento las cuales no requieren de altas resistencias

De acuerdo a los resultados obtenidos se hace un comparativo del valor de precios para la fabricación un concreto con una resistencia similar para eso se toma dos mezclas

- Mezcla patrón 0.75 relación agua-cemento con 264kg/m<sup>3</sup> resistencia 29.5Mpa sin ceniza.
- Mezcla 0.55 relación agua-cemento con 30% de sustitución de cemento por ceniza

Resistencia 29.2Mpa con ceniza

Cuadro de precios para un M<sup>3</sup> de concreto sin ceniza =resistencia 29.5Mpa

Tabla 9 Mezcla (264Kg) 0.75 relación Agua Cemento

| MATERIAS PRIMAS DE CONCRETO SIN CENIZA | CANTIDADES DE MATERIA PRIMA X M3 | UNIDADES | PRECIOS MATERIA PRIMA |
|----------------------------------------|----------------------------------|----------|-----------------------|
| Especial Tipo ART Granel               | 264                              | Kg       | \$ 91,740             |
| ARENA/ NATURAL                         | 773                              | Kg       | \$ 31,307             |
| GRAVILLA#7 (1/2")                      | 502                              | Kg       | \$ 25,853             |
| GRAVA#5 (1")                           | 602                              | Kg       | \$ 31,003             |
| AGUA INDUSTRIAL                        | 198                              | lt       | \$ 2,970              |
| Eucon Retarder 150                     | 1,060                            | gm       | \$ 1,431              |
| Plastol 8700 Planta                    | 1.08                             | gm       | \$ 6                  |
| Ceniza TermoPaipa                      | 0                                | Kg       | \$ 0                  |
|                                        |                                  |          |                       |
| PRECIOS M3 DE CONCRETO                 |                                  |          | \$ 184,309            |

Cuadro de precios para un M<sup>3</sup> de concreto con el 30% de ceniza =resistencia 29.2Mpa

Tabla 31 Mezcla (360Kg) 0.55 relación Agua Cemento con 30% de ceniza

| MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO CON EL 30% DE CENIZA | CANTIDADES DE MATERIA PRIMA X M3 | UNIDADES | PRECIOS MATERIA PRIMA |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|----------|-----------------------|
| Especial Tipo ART Granel                          | 252                              | Kg       | \$ 87,570             |
| ARENA/ NATURAL                                    | 722                              | Kg       | \$ 29,241             |
| GRAVILLA#7 (1/2")                                 | 469                              | Kg       | \$ 24,154             |
| GRAVA#5 (1")                                      | 569                              | Kg       | \$ 29,304             |
| AGUA INDUSTRIAL                                   | 198                              | lt       | \$ 2,970              |
| Eucon Retarder 150                                | 1,040                            | gm       | \$ 1,404              |
| Plastol 8700 Planta                               | 1.08                             | gm       | \$ 6                  |
| Ceniza TermoPaipa                                 | 108                              | Kg       | \$ 21,600             |
|                                                   |                                  |          |                       |
| PRECIOS M3 DE CONCRETO                            |                                  |          | \$ 196,248            |

## **Capítulo V Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

La ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) como sustituto del cemento baja la resistencia a compresión del concreto en los diferentes porcentajes 10%, 20%, 30%.

En algunas sustituciones de cemento por ceniza la evolución de los concretos es favorable pero a las edades específicas se baja la resistencia notoriamente

Se puso observar que las mezclas con mayor sustitución de cemento por ceniza presentan retardos de fraguado.

Se pudo ver que a mayor sustitución de ceniza y a menor relación agua cemento requirió mayor porcentaje de aditivo Plastol 8000 (plastificante)

La ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) en los concretos tiende a bajar su masa unitaria, a pesar que su módulo de finura es menor que la del cemento, esto es debido a su densidad

La ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) da una mayor manejabilidad al concreto haciendo que tenga mayor asentamiento y se mantenga, lo cual es favorable en la colocación

Se pudo observar que el aspecto del concreto (color) cambia debido al color oscuro que caracteriza a la ceniza

En los ensayos de laboratorio se vio que a mayor sustitución de cemento por ceniza las temperaturas del concreto son más bajas.

### **5.2. Recomendaciones**

Se propone realizar ensayos de laboratorio con sustituciones inferiores al 10% de ceniza de la TERMOPAIPA (tercera unidad) ya que se pudo analizar que a menor sustitución de cemento por ceniza es menor pérdida de la resistencia del concreto a compresión

Realizar pruebas de laboratorio con ceniza de otras unidades de la TERMOPAIPA ya que sus características pueden variar y así mismo su comportamiento a compresión en los concretos

Se propone realizar ensayos de laboratorio con relaciones agua-cemento ya que es menor la pérdida de la resistencia del concreto a compresión

En fundidas masivas de concreto se puede llegar a utilizar estas mezclas ya que estas ayudan a controlar la temperatura, esto con el previo análisis para determinar la resistencia específica. Ya que las características de la ceniza pueden cambiar debido al carbón utilizado en la termo eléctrica TERMO PAIPA.

Debido a la pérdida de resistencia y retardos de fraguado que se da en los concretos al sustituir cemento por ceniza no son recomendables utilizarlas en concretos industrializados o pavimentos debido que estos procesos constructivos son muy rápidos.

### Lista de Referencias

- Nilson. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Sánchez de Guzmán. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Santa Fe de Bogotá: Brandar Editores LTDA.
- UNU.EDU. Análisis, presentación y sustentación de los resultados, consultado en internet:  
<http://archive.unu.edu/unupress/food2/UIN13S/UIN13S0F.HTM>
- Agudelo, A. y Espinosa, B. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Fonseca, L. (2016). Empleo de ceniza volante colombiana como material cementicio suplementario y sus efectos sobre la fijación de cloruros en concretos (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gómez, A. (2009). Caracterización y utilización de puzolanas como aditivos minerales activos en cementos. Aplicación en viviendas de bajo coste (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Huaquisto, S. (2015). Efecto de la ceniza volante en la resistencia del concreto en condiciones de clima natural. *Revista Científica Investigación Andina*, 15(1), pp. 58-67.
- Huaquisto, S. y Quispe, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), pp. 225 – 234.

- Muñoz, M. King, R. y Montenegro, J. (s.f.). Caracterización geotécnica de cenizas volantes generadas a partir de la combustión del carbón en central termoeléctrica. En Simposio de Habilitación Profesional. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.
- Niño, H. (2010). Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas. Bogotá, Colombia: Asocreto.
- Santaella, L. y Salamanca, R. (2004). Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (TERMOPAIPA IV) y agua constante. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 14(1), pp. 1-7.

### Apéndice A: Caso práctico.

A continuación se presenta los precios de los materiales y el ahorro en dinero por cada m<sup>3</sup> de concreto con una sustitución del 10% de cemento por Ceniza de la TermoPaipa . Este mismo ahorro es calculado en una fundida de 100m<sup>3</sup> de concreto

Tabla 50 Cuadro de costos por m3

| Estos Precios Tienen Incluido El Valor Del Flete, Puestos En Tunja Boyacá |                                                              |          |                      |                       |                                                                       |                       |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Materias Primas                                                           | Cantidades De Materia Prima X M <sup>3</sup> Diseño Original | Unidades | Precios Por Tonelada | Precios Materia Prima | Cantidades De Materia Prima X M <sup>3</sup> Diseño Con 10% De Ceniza | Precios Materia Prima |
| Especial Tipo ART Granel                                                  | 263                                                          | Kg       | \$ 347.500           | \$ 91.393             | 237                                                                   | \$ 82.253             |
| ARENA/ NATURAL                                                            | 762                                                          | Kg       | \$ 40.500            | \$ 30.861             | 762                                                                   | \$ 30.861             |
| GRAVILLA#7 (1/2")                                                         | 495                                                          | Kg       | \$ 51.500            | \$ 25.493             | 495                                                                   | \$ 25.493             |
| GRAVA#5 (1")                                                              | 594                                                          | Kg       | \$ 51.500            | \$ 30.591             | 594                                                                   | \$ 30.591             |
| AGUA INDUSTRIAL                                                           | 198                                                          | lt       | \$ 15                | \$ 2.970              | 198                                                                   | \$ 2.970              |
| Eucon Retarder 150                                                        | 1.020                                                        | gm       | \$ 1.350             | \$ 1.377              | 1020                                                                  | \$ 1.377              |
| Plastol 8700 Planta                                                       | 561                                                          | gm       | \$ 5.434             | \$ 3.048              | 561                                                                   | \$ 3.048              |
| Ceniza TermoPaipa                                                         | 0                                                            | Kg       | \$ 110               | \$ 0                  | 26                                                                    | \$ 2.860              |
|                                                                           |                                                              |          |                      |                       |                                                                       |                       |
| PRECIOS M3 DE CONCRETO                                                    |                                                              |          |                      | \$ 185.732            |                                                                       | \$ 179.453            |
|                                                                           |                                                              |          |                      |                       |                                                                       |                       |
| <b>DIFERENCIA DE PRECIOS POR M3</b>                                       |                                                              |          |                      |                       | <b>\$ 6.279</b>                                                       |                       |
|                                                                           |                                                              |          |                      |                       |                                                                       |                       |
| <b>DIFERENCIA POR 100M3</b>                                               |                                                              |          |                      |                       | <b>\$ 627.925</b>                                                     |                       |

Fuente: Elaboracion propia

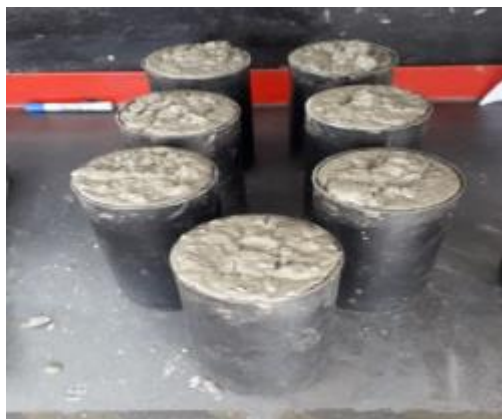
**Nota:** estos precios tienen incluido el valor del flete, puestos en Tunja Boyacá

**Apéndice B: Materiales utilizados en el proceso de Investigación***Tabla 51* Materiales utilizados en la investigación

|                                                                                     |                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|    | <p>Aditivo Pastol 8000</p> <p>Plastificante</p> |
|   | <p>Aditivo Retarder 150</p> <p>Retardante</p>   |
|  | <p>Grava N°7</p> <p>Caliza Y Minerales</p>      |

|                                                                                     |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|    | <p>Gravan°5</p> <p>Calizas Y MINERALES</p> |
|   | <p>Arena Lavada</p> <p>Premoar</p>         |
|  | <p>Cemento ART</p>                         |
|  | <p>Ceniza Termopaipa</p>                   |

|                                                                                     |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|    | <p>Agua Para Mezcla</p>                  |
|   | <p>Prueba De Asentamiento</p>            |
|  | <p>Mezcla Concreto En Estado Fresco</p>  |
|  | <p>Ensayo Masa Unitaria Del Concreto</p> |



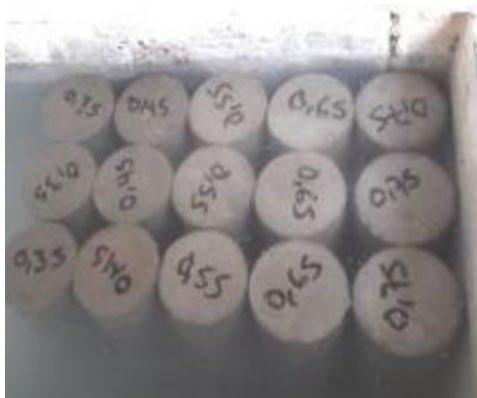
Cilindro En Estado Fresco



Ensayo De Contenido De Aire  
Del Concreto



Cilindros Marcados



Cilindros En Piscina De Curado  
Pruebas Patrón

|                                                                                     |                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Prensa De Fallos Ensayo A<br/>Compresión</p>                                                                    |
|   | <p>Dato De Fallo De Prensa<br/>Ensayo A Compresión</p>                                                             |
|  | <p>Mina De Extracción De Arena<br/>Lavada</p> <p>PREMOAR</p> <p>Ubicada En Sogamoso Boyacá</p>                     |
|  | <p>Mina De Extracción De Gravas<br/>calizas</p> <p>Y ,minerales de Colombia</p> <p>Ubicada en Moniquirá Boyacá</p> |

## Apéndice C: Glosario

**Muestra Patrón:** Mezcla original de concreto, que no tiene ningún tipo de cambio en su diseño, es el punto de análisis respecto a las demás muestras.

**Fraguado:** Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos, procedentes de la reacción química del agua de amasada con los óxidos metálicos presentes en el clinker que compone el cemento.

**Curado:** Proceso con el cual se mantienen una temperatura y un contenido de humedad adecuados, durante los primeros días después del vaciado, para que se puedan desarrollar en él las propiedades de resistencia y durabilidad.

**Aditivos:** Componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

**Resistencia a la Compresión:** Medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Es una fuerza aplicada a un área.

**Termoeléctrica:** Instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón.

**Agregado:** Material Granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto Horno Empleados con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

**Cemento:** Polvo fino que se obtiene al poner en temperaturas muy altas una mezcla de piedra caliza, arcilla y otras sustancias. Es un material que reacciona con el agua y que actúa

como aglutinante, presenta propiedades de adherencia y cohesión, produciendo compuestos que son muy resistentes.

**Concreto:** Material resultante de la mezcla de cemento con agregados y agua, utilizado para estructuras que pueden soportar grandes cargas.

**Durabilidad:** Capacidad de la mezcla ya endurecida de soportar sin deteriorarse, las solicitaciones provocadas por agentes físicos y químicos, que pueden agredir al concreto, no solo en su superficie, sino también en el interior de la masa.

Fuente: tesis mezclas de concreto hidráulico con aditivos inclusores de aire “cenizas volantes”

Fuente: Tesis análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de termopaipa