



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PESO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL CON UN HORMIGÓN LIGERO DE PIEDRA PÓMEZ PARA UNA RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE  $F'C = 240 \text{ KG/CM}^2$  CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.”**

---

**AUTORA:** Dayana Pamela Benalcázar Quiguango

**TUTOR:** Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

**AMBATO - ECUADOR**

**Marzo – 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PESO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL CON UN HORMIGÓN LIGERO DE PIEDRA PÓMEZ PARA UNA RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE  $F'C= 240 \text{ KG/CM}^2$  CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE”**, elaborado por la Srta. **Dayana Pamela Benalcázar Quiguango**, con CI: 100446136-2, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2022

-----  
**Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Dayana Pamela Benalcázar Quiguango** con CI: 1004461362, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PESO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL CON UN HORMIGÓN LIGERO DE PIEDRA PÓMEZ PARA UNA RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE  $F'C= 240 \text{ KG/CM}^2$  CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2022



**Dayana Pamela Benalcázar Quiguango**

**CI: 100446136-2**

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized oval shape with a vertical line through it, and several horizontal strokes below. The signature is written over a horizontal line.

**Dayana Pamela Benalcázar Quiguango**

**CI: 100446136-2**

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Dayana Pamela Benalcázar Quiguango de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PESO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL CON UN HORMIGÓN LIGERO DE PIEDRA PÓMEZ PARA UNA RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE  $F'C= 240 \text{ KG/CM}^2$  CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE”**.

Ambato, Marzo 2022

Para constancia firman:

---

**Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre**

**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres**

**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

*A DIOS,*

*Mi familia y amigos,*

*A todos quienes han sido parte de esta aventura llamada “vida”.*

*Dayana Pamela Benalcázar Quiguango.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser quien me guía, perdona y no me abandona aun cuando menos lo merezco. Por ser el soporte y amor más grande en mi vida.

A mi madre por ser un gran ejemplo de mujer, por ser un alto estándar de ser humano.

A mi familia y aquellos amigos (hermanos) que cambiaron el rumbo de mi vida con cada palabra, consejo, momento, con lo bueno y lo malo. A ellos por compartir su tiempo y vida conmigo.

Al profesional que me guío como tutor durante el proceso del presente trabajo experimental, Ing. Diego Chérrez a quien admiro por ser un profesional de principios y valores.

A las autoridades, docentes, secretarias, conserjes, abogados, a todos quienes forman parte de la mejor Facultad (FICM) de la UTA por colaborar en los procesos personales y académicos para culminar mi carrera.

A mí por levantarme cada vez que caí, por respetarme, quererme, disfrutarme y salir adelante.

Y a todos quienes me han hecho bien y mal, por ellos he crecido como ser humano.

**¡GRACIAS!**

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

|  |          |
|--|----------|
| <b>A. PÁGINAS PRELIMINARES.....</b>    | <b>i</b> |
| CERTIFICACIÓN .....                    | ii       |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....      | iii      |
| DERECHOS DE AUTOR .....                | iv       |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... | v        |
| DEDICATORIA .....                      | vi       |
| AGRADECIMIENTO .....                   | vii      |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....      | viii     |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                 | x        |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....               | xiv      |
| RESUMEN.....                           | xvi      |
| ABSTRACT.....                          | xvii     |
| <b>B. CONTENIDO .....</b>              | <b>1</b> |
| CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....       | 1        |
| 1.1. Antecedentes Investigativos ..... | 1        |
| 1.1.1. Antecedentes .....              | 1        |
| 1.1.2. Justificación.....              | 4        |
| 1.2. Objetivos.....                    | 6        |
| 1.2.1. General .....                   | 6        |
| 1.2.2. Específicos.....                | 6        |
| CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA. ....        | 7        |
| 2.1. Materiales .....                  | 7        |
| 2.1.1. El Hormigón Convencional .....  | 7        |
| 2.1.1.1. Cemento .....                 | 7        |
| 2.1.1.2. Agregados .....               | 9        |
| 2.1.1.3. Agua .....                    | 11       |
| 2.1.2. El Hormigón Ligero .....        | 11       |
| 2.1.3. Aditivo Superplastificante..... | 12       |



|  |     |
|--|-----|
| 2.2. Métodos.....  | 14  |
| 2.2.1. Ensayos a los componentes del hormigón .....                                    | 14  |
| 2.2.1.1. Granulometría de los agregados.....   | 14  |
| 2.2.1.2. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados .....                  | 18  |
| 2.2.1.3. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso y fino .....       | 19  |
| 2.2.1.4. Densidad real del cemento .....   | 21  |
| 2.2.1.5. Contenido de humedad.....   | 21  |
| 2.2.2. Dosificación del hormigón.....  | 23  |
| 2.2.2.1. Dosificación del hormigón convencional.....                                   | 24  |
| 2.2.2.2. Dosificación del hormigón ligero.....   | 28  |
| CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 43  |
| 3.1. Análisis y discusión de los resultados.....                                       | 43  |
| 3.1.1. Ensayos al hormigón en estado fresco. ....                                      | 43  |
| 3.1.1.1. Densidad del hormigón en estado fresco. ....                                  | 43  |
| 3.1.1.2. Asentamiento y consistencia del hormigón fresco.....                          | 52  |
| 3.1.2. Ensayos al hormigón en estado endurecido. ....                                  | 55  |
| 3.1.2.1. Densidad y Resistencia a compresión a los 7 días. ....                        | 55  |
| 3.1.2.2. Densidad y Resistencia a compresión a los 14 días. ....                       | 66  |
| 3.1.2.3. Densidad y Resistencia a compresión a los 28 días. ....                       | 76  |
| 3.1.3. Análisis de costos para el porcentaje óptimo de aditivo superplastificante..... | 86  |
| 3.1.3.1. Porcentaje óptimo de aditivo superplastificante. ....                         | 86  |
| 3.1.3.2. Análisis de Precios Unitarios. ....   | 90  |
| 3.1.3.3. Análisis Costo-Beneficio. ....  | 98  |
| 3.1.4. Resumen de Resultados.....  | 101 |
| 3.2. Verificación de hipótesis.....  | 119 |

|   |            |
|---|------------|
| CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                  | 120        |
| 4.1. Conclusiones .....   | 120        |
| 4.2. Recomendaciones.....   | 123        |
| <b>C. MATERIALES DE REFERENCIA .....</b>                            | <b>124</b> |
| Referencias Bibliográficas .....                                    | 124        |
| Anexos .....  | 130        |
| A1. Resultados ensayos a los componentes del Hormigón.....          | 130        |
| A2. Dosificación del hormigón convencional – Método ACI 211.1 ..... | 140        |
| A3. Dosificación del hormigón ligero – Método ACI 211.2 .....       | 142        |
| A4. Resultados de ensayo a compresión – Informe Laboratorio .....   | 144        |
| A5. Fotografías.....  | 150        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1.- Tipos de Cemento Portland. ....  | 8  |
| Tabla 2.- Cementos hidráulicos compuestos.....   | 8  |
| Tabla 3.- Cementos hidráulicos por desempeño. ....   | 9  |
| Tabla 4.- Aditivos según ASTM C494 .....   | 12 |
| Tabla 5.- Gradación [ASTM E11 y NTE INEN 154] y Límites Granulométricos de Agregado Fino según, [ASTM C33 y NTE INEN 872]. ....                      | 14 |
| Tabla 6.- Tamaño mínimo de la muestra para agregado grueso INEN 696.....   | 16 |
| Tabla 7.- Gradación [ASTM E11 y NTE INEN 154] y Límites Granulométricos de Agregado Grueso de densidad normal según, [ASTM C33 y NTE INEN 872]...... | 16 |
| Tabla 8.- Gradación [ASTM E11 y NTE INEN 154] y Límites Granulométricos de Agregado Grueso de baja densidad según, [ASTM C330]......                 | 17 |
| Tabla 9.- Requisitos de Máxima Densidad Aparente seca suelta de Agregados Livianos para Concreto Estructural.....                                    | 19 |
| Tabla 10.- Masa mínima de muestra de ensayo para agregado grueso ligero.....   | 20 |
| Tabla 11.- Tamaño de la muestra de árido para Contenido de Humedad. ....   | 22 |
| Tabla 12.- Ensayos requeridos para el Método de la ACI 211. ....   | 23 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 13.- Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. ....  | 24 |
| Tabla 14.- Revenimiento recomendado según el tipo de construcción.....   | 24 |
| Tabla 15.- Tamaño nominal máximo según tipo de construcción. ....  | 25 |
| Tabla 16.- Cantidades aprox. de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de granulado grueso. ....                             | 25 |
| Tabla 17.- Relación agua/ cemento en función a la Resistencia a compresión.....  | 26 |
| Tabla 18.-Volumen aparente seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón. ....   | 27 |
| Tabla 19.- Cantidades de material para 1 m <sup>3</sup> de hormigón convencional. ....   | 28 |
| Tabla 20.- Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción según ACI 211.2-98. ....   | 29 |
| Tabla 21.- Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de los áridos..... | 29 |
| Tabla 22.- Relación entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del hormigón. ....   | 30 |
| Tabla 23.- Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón.....   | 31 |
| Tabla 24.- Cantidades de material para 1 m <sup>3</sup> hormigón ligero.....   | 32 |
| Tabla 25.- Total de muestras propuestas en el Trabajo Experimental. ....   | 34 |
| Tabla 26.- Volumen y dosificación al peso necesario de H. Convencional por parada. ....  | 35 |
| Tabla 27.- Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Convencional con 0% de Aditivo Superplastificante.....                                   | 36 |
| Tabla 28.- Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Convencional con 0.8% de Aditivo Superplastificante.....                                 | 37 |
| Tabla 29.- Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Convencional con 1.0% de Aditivo Superplastificante.....                                 | 38 |
| Tabla 30.- Volumen y Dosificación al peso necesario de Hormigón Ligero por parada. ....  | 39 |
| Tabla 31.- Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Ligero con 0% de Aditivo Superplastificante.....   | 40 |
| Tabla 32.- Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Ligero con 0.8% de Aditivo Superplastificante.....                                       | 41 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 33.- Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Ligeró con 1.0% de Aditivo Superplastificante.....            | 42 |
| Tabla 34.- Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón convencional con 0% de aditivo superplastificante. ....   | 44 |
| Tabla 35.- Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón convencional con 0.8% de aditivo superplastificante. .... | 45 |
| Tabla 36.- Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón convencional con 1% de aditivo superplastificante. ....   | 46 |
| Tabla 37.- Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón ligeró con 0% de aditivo superplastificante. ....         | 47 |
| Tabla 38.- Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón ligeró con 0.8% de aditivo superplastificante.....        | 48 |
| Tabla 39.- Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón ligeró con 1 % de aditivo superplastificante. ....        | 49 |
| Tabla 40.- Asentamiento y consistencia obtenidos de los Hormigones propuestos. .  | 52 |
| Tabla 41.- Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Convencional con 0% de superplastificante. ....    | 56 |
| Tabla 42.- Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante. ....  | 57 |
| Tabla 43.- Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Convencional con 1% de superplastificante. ....    | 58 |
| Tabla 44.- Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Ligeró con 0% de superplastificante. ....          | 59 |
| Tabla 45.- Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Ligeró con 0.8% de superplastificante. ....        | 60 |
| Tabla 46.- Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Ligeró con 1% de superplastificante. ....          | 61 |
| Tabla 47.- Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Convencional con 0% de superplastificante. ....   | 66 |
| Tabla 48.- Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante. .... | 67 |
| Tabla 49.- Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Convencional con 1% de superplastificante. ....   | 68 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 50.- Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Ligeró con 0% de superplastificante. ....         | 69  |
| Tabla 51.- Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Ligeró con 0.8% de superplastificante. ....       | 70  |
| Tabla 52.- Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Ligeró con 1% de superplastificante. ....         | 71  |
| Tabla 53.- Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Convencional con 0% de superplastificante. ....   | 76  |
| Tabla 54.- Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante. .... | 77  |
| Tabla 55.- Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Convencional con 1% de superplastificante. ....   | 78  |
| Tabla 56.- Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Ligeró con 0% de superplastificante. ....         | 79  |
| Tabla 57.- Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Ligeró con 0.8% de superplastificante. ....       | 80  |
| Tabla 58.- Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Ligeró con 1% de superplastificante. ....         | 81  |
| Tabla 59.- Precio unitario de H. Convencional $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0% sp. ....                                  | 90  |
| Tabla 60.- Precio unitario de H. Convencional $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0.8% sp. ....                                | 91  |
| Tabla 61.- Precio unitario de H. Convencional $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 1% sp. ....                                  | 92  |
| Tabla 62.- Precio unitario de H. Ligeró $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0% sp. ....  | 93  |
| Tabla 63.- Precio unitario de H. Ligeró $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0.8% sp. ....                                      | 94  |
| Tabla 64.- Precio unitario de H. Ligeró $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 1% sp. ....  | 95  |
| Tabla 65.- Comparación de costos por m <sup>3</sup> para cada tipo de Hormigón propuesto. .                                 | 98  |
| Tabla 66.- Granulometría del Agregado Grueso - Ripio TMN=19mm. ....   | 130 |
| Tabla 67.- Granulometría del Agregado Fino - Arena. ....  | 131 |
| Tabla 68.- Granulometría del Agregado Grueso - Piedra Pómez TMN=19mm. ....  | 132 |
| Tabla 69.- Densidad Aparente suelta de los agregados. ....  | 133 |
| Tabla 70.- Densidad Aparente compactada de los agregados. ....  | 134 |
| Tabla 71.- Densidad real y capacidad de absorción del Ripio. ....   | 135 |
| Tabla 72.- Densidad real y capacidad de absorción de la Arena. ....   | 136 |
| Tabla 73.- Densidad real y capacidad de absorción de la Piedra Pómez. ....  | 137 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 74.- Contenido de Humedad de los agregados.....   | 138 |
| Tabla 75.- Densidad real del Cemento.....   | 139 |
| Tabla 76.- Resumen dosificación para f'c de 240 kg/cm <sup>2</sup> para hormigón convencional.<br>..... | 140 |
| Tabla 77.- Resumen dosificación para f'c de 240 kg/cm <sup>2</sup> para hormigón ligero.....            | 142 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1.- Densidades de los hormigones convencionales en estado fresco. ....                          | 50 |
| Gráfico 2.- Densidades de los hormigones ligeros en estado fresco.....                                  | 51 |
| Gráfico 3.- Asentamientos obtenidos en hormigones convencionales propuestos. ...                        | 53 |
| Gráfico 4.- Asentamientos obtenidos en hormigones ligeros propuestos.....                               | 54 |
| Gráfico 5.- Resumen de densidades del hormigón convencional en estado endurecido<br>a los 7 días.....   | 62 |
| Gráfico 6.- Resumen de densidades del hormigón ligero en estado endurecido a los 7<br>días. ....        | 63 |
| Gráfico 7.- Resumen de resistencia a compresión del hormigón convencional a los 7<br>días. ....         | 64 |
| Gráfico 8.- Resumen de resistencia a compresión del hormigón ligero a los 7 días..                      | 65 |
| Gráfico 9.- Resumen de densidades del hormigón convencional en estado endurecido<br>a los 14 días.....  | 72 |
| Gráfico 10.- Resumen de densidades del hormigón ligero en estado endurecido a los<br>14 días. ....      | 73 |
| Gráfico 11.- Resumen de resistencia a compresión del hormigón convencional a los<br>14 días. ....       | 74 |
| Gráfico 12.- Resumen de resistencia a compresión del hormigón ligero a los 14 días.<br>.....            | 75 |
| Gráfico 13.- Resumen de densidades del hormigón convencional en estado endurecido<br>a los 28 días..... | 82 |
| Gráfico 14.- Resumen de densidades del hormigón ligero en estado endurecido a los<br>28 días. ....      | 83 |
| Gráfico 15.- Resumen de resistencia a compresión del hormigón convencional a los<br>28 días. ....       | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 16.- Resumen de resistencia a compresión del hormigón ligero a los 28 días.<br>.....                                       | 85  |
| Gráfico 17.- Porcentaje óptimo de aditivo superplastificante en el hormigón convencional. ....                                     | 86  |
| Gráfico 18.- Porcentaje óptimo de aditivo superplastificante en el Hormigón Ligero.<br>.....                                       | 88  |
| Gráfico 19.- Precio Unitario para cada porcentaje de aditivo en hormigón convencional. ....  | 96  |
| Gráfico 20.- Precio Unitario para cada porcentaje de aditivo en hormigón ligero. ...   | 96  |
| Gráfico 21.- Análisis costo-beneficio por m <sup>3</sup> en hormigón convencional. ....  | 99  |
| Gráfico 22.- Análisis costo-beneficio por m <sup>3</sup> en hormigón ligero. ....  | 99  |
| Gráfico 23.- Comparación de densidades a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0% de superplastificante. ....                  | 101 |
| Gráfico 24.- Comparación de resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0% de superplastificante. ....   | 103 |
| Gráfico 25.- Comparación de densidades a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0.8% de superplastificante. ....                | 105 |
| Gráfico 26.- Comparación de resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0.8% de superplastificante. .... | 107 |
| Gráfico 27.- Comparación de densidades a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 1% de superplastificante. ....                  | 109 |
| Gráfico 28.- Comparación de resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 1% de superplastificante. ....   | 111 |
| Gráfico 29.- Densidad en estado endurecido de todos los hormigones a los 7, 14 y 28 días de edad. ....                             | 113 |
| Gráfico 30.- Resistencia a compresión de todos los hormigones a los 7, 14 y 28 días de edad. ....                                  | 115 |
| Gráfico 31.- Resumen de análisis costo – beneficio de los hormigones. ....   | 117 |

## RESUMEN

El trabajo experimental propuesto tiene el objeto de determinar la influencia de la piedra pómez y aditivo superplastificante en diferentes porcentajes en las propiedades de densidad y resistencia a compresión. Para empezar, se reunió los materiales a emplearse: los agregados pétreos se obtuvieron de distintos lugares de origen, el agregado fino(arena) de Salcedo, agregado grueso de densidad normal (ripio TMN=19 mm) de Ambato y agregado grueso de baja densidad (piedra pómez TMN=19 mm) de Latacunga, aditivo superplastificante y cemento tipo GU. Luego del acopio de los materiales en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la FICM se realizaron los respectivos ensayos sobre los mismos según lo establecido en las normas INEN y ASTM.

A continuación, se realizó la dosificación por el Método de la ACI 211.1 y 211.2 para el Hormigón Convencional y Ligeró respectivamente para una resistencia de diseño a compresión de 240 kg/cm<sup>2</sup> con la adición de los porcentajes de 0, 0.8 y 1 por ciento de aditivo superplastificante previa investigación y recomendación del fabricante. Se elaboraron los especímenes cilíndricos para cada tipo de hormigón con los porcentajes de aditivo propuestos y ensayados a compresión a los 7,14 y 28 días de edad.

Se estableció que el porcentaje óptimo de aditivo superplastificante es del 1 por ciento tanto para el hormigón convencional como ligeró con densidades y resistencias a compresión a los 28 días de (2208.22 y 1561.42 Kg/m<sup>3</sup>) y (311.60 y 177.87 Kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.

**Palabras clave:** hormigón convencional, hormigón ligeró, piedra pómez, superplastificante, densidad, resistencia a compresión.



## ABSTRACT

The purpose of the proposed experimental work is to determine the influence of pumice stone and superplasticizer additive in different percentages on the properties of density and compressive strength. To begin with, the materials to be used were gathered: the stone aggregates were obtained from different places of origin, fine aggregate (sand) from Salcedo, normal density coarse aggregate (gravel TMN=19 mm) from Ambato and low density coarse aggregate (pumice TMN=19 mm) from Latacunga, superplasticizer additive and cement type GU. After the materials were collected at the FICM Materials Testing Laboratory, they were tested according to INEN and ASTM standards.

Next, the dosage was carried out according to ACI Method 211.1 and 211.2 for Conventional and Lightweight Concrete respectively for a design compressive strength of 240 kg/cm<sup>2</sup> with the addition of percentages of 0, 0.8 and 1 percent of superplasticizer additive after investigation and recommendation of the manufacturer. Cylindrical specimens were prepared for each type of concrete with the proposed percentages of admixture and tested in compression at 7, 14 and 28 days of age.

It was established that the optimum percentage of superplasticizing admixture is 1 percent for both conventional and lightweight concrete with densities and compressive strengths at 28 days of (2208.22 and 1561.42 Kg/m<sup>3</sup>) and (311.60 and 177.87 Kg/cm<sup>2</sup>) respectively.

**Keywords:** conventional concrete, lightweight concrete, pumice, superplasticizer, density, compressive strength.

## CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

El uso del hormigón como elemento constructivo ha estado presente en multitud de estructuras y edificaciones desde los albores del Imperio Romano (27 a.C.-235 d.C.), hasta nuestros días. Paralelamente han ido evolucionando con él, tanto los elementos básicos de las obras en las que se ha utilizado este material como la propia puesta en obra del mismo, los ensayos de laboratorio que se realizan sobre éste para asegurar su calidad y los aditivos utilizados en la elaboración del propio hormigón. [1]

Con el paso de los años la investigación de nuevos componentes para el hormigón permitió la resolución de nuevas necesidades y demandas en el campo de la construcción, concediendo así la existencia de diferentes tipos de hormigón denominados hormigones especiales, los cuales varían ligeramente su composición con el hormigón convencional que es la mezcla de cemento Pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos [2] ; para conferirles las propiedades más adecuadas para cada situación, como lo es el hormigón ligero.

Los primeros hormigones livianos usados para construir edificaciones datan de los años 20 a.C. en el Imperio Romano, estos primeros hormigones livianos eran resultado de la mezcla de materiales cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como lo es la piedra pómez. Los primeros edificios construidos con hormigones estructurales livianos aparecieron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 en Kansas se construyó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos, considerado el primer edificio de hormigón liviano estructural. El suelo donde se cimenta este edificio tenía una capacidad portante muy baja, por esta razón se optó por utilizar este material para aligerar el peso que descargaba al suelo. [3]

Hariyadia y Hiroki Tamai en “*ENHANCING THE PERFORMANCE OF POROUS CONCRETE BY UTILIZING THE PUMICE AGGREGATE.*” evalúan los efectos de

la utilización de piedra pómez volcánica como material de sustitución de áridos para mejorar las propiedades mecánicas (por ejemplo, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión) y las propiedades de control de calidad (por ejemplo, la densidad y el contenido de huecos) del hormigón poroso concluyendo que al utilizar piedra pómez volcánica aumenta la porosidad y disminuye el módulo de elasticidad, aunque también se encuentra una ligera disminución de la resistencia. Sin embargo, se demostró la posibilidad de utilizar el hormigón poroso de piedra pómez volcánica como estructuras de absorción de energía de impacto. [4]

Por otro lado Rashad Alaa M. en *“A SHORT MANUAL ON NATURAL PUMICE AS A LIGHTWEIGHT AGGREGATE.”* revisó el efecto del árido de piedra pómez en las propiedades frescas y endurecidas del hormigón y el mortero convencionales concluyendo en que la aceptación de la piedra pómez como agregado natural ligero es ventajoso y deseable, la piedra pómez se utiliza en el hormigón y el mortero para producir aislamiento térmico, resistencia al fuego, resistencia a la congelación/descongelación, resistencia química, menor expansión de la reacción álcali-sílice (ASR) y matriz ligera. Como contrapartida, la introducción de agregados de piedra pómez en la matriz reduce la resistencia mecánica, reduce la trabajabilidad, aumenta la contracción por secado y aumenta la absorción de agua. [5]

Según Nihat Kabay y Fevziye Aköz en su investigación *“EFFECT OF PREWETTING METHODS ON SOME FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF CONCRETE WITH PUMICE AGGREGATE.”* comparan los efectos de la aplicación de tres métodos de pre-humectación en algunas propiedades frescas y endurecidas del hormigón ligero de piedra pómez dado que uno de los principales problemas en la producción de hormigón con áridos ligeros es la elevada absorción de agua que presentan los áridos debido a su estructura porosa determinando que el remojo en vacío y en agua de los áridos ligeros de piedra pómez mejoró la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la contracción por secado de los hormigones ligeros de piedra pómez. [6]

D. Matías, J. de Brito, A. Rosa, D y Pedro, en su investigación *“MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE PRODUCED WITH RECYCLED COARSE AGGREGATES – INFLUENCE OF THE USE OF SUPERPLASTICIZERS.”* analizan

la influencia del uso de superplastificantes en algunas propiedades mecánicas del hormigón con áridos reciclados y las comparan con las propiedades correspondientes del hormigón convencional fabricado con áridos naturales y determina que la adición de superplastificantes puede compensar la pérdida de resistencia a la compresión. [7]

Mientras que Chen Shi , Ting-shu He, Ge Zhang, Xi Wang y Yanyan Hu investigaron los efectos de los superplastificantes ácido poli carboxílico (PC), sulfonato de naftalina (NS) y alifáticos (AH) en la carbonatación del hormigón en, “*EFFECTS OF SUPERPLASTICIZERS ON CARBONATION RESISTANCE OF CONCRETE.*” en el que determinaron que los superplastificantes pueden disminuir la porosidad del hormigón y pueden cambiar considerablemente la morfología de los cristales lo que disminuye o inhibe la participación de los iones de calcio en la reacción de carbonatación. [8]

### 1.1.2. Justificación

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, su aplicación se extiende a todo tipo de estructuras por las propiedades mecánicas ventajosas que presenta principalmente resistencias a compresión considerables, durabilidad, trabajabilidad, entre otras. El constante avance de esta industria trae consigo demandas mayores para la edificación de estructuras de gran envergadura en las cuales el uso del hormigón convencional deja de ser ventajoso por el peso propio que representaría en mayores secciones y costos por lo tanto se hace necesario la investigación de nuevos materiales que reduzcan el peso de las estructuras. [9]

La gran mayoría de los hormigones que se elaboran en Ecuador ocupan para su fabricación agregados de peso normal con densidades promedio de 2600 kg/m<sup>3</sup> o mayores, por lo que el hormigón liviano, es un material poco conocido. Sin embargo, existen razones que justificarían su empleo, debido fundamentalmente a la abundancia de material de baja densidad como la piedra pómez [10].

En el Ecuador los depósitos de este material están ubicados en las regiones donde existen volcanes como por ejemplo en la zona norte y centro que abarcan las provincias de: Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua. Siendo la provincia de Cotopaxi la que posee la mayor cantidad de depósitos [11]. El hormigón ligero con piedra pómez puede ayudar a ciudades de la sierra donde existe mayor cantidad de canteras con este material, lo cual significaría un ahorro al momento de construir puesto a que se obtendrían los agregados de un mismo lugar. [12]

La piedra pomez al ser una roca porosa absorbe mayor cantidad de agua con respecto a la grava motivo por lo cual el uso de aditivo superplastificante ayudaría a compensar este inconveniente además de aumentar la trabajabilidad e incrementar levemente la resistencia a compresión del hormigón elaborado con este material. Por lo que se propone el uso del aditivo superplastificante, el cuál es recomendado por varias literaturas por los beneficios que presenta, además de la disponibilidad del producto en nuestro país.

A través de la búsqueda de nuevas tecnologías que puedan solventar los nuevos problemas de construcción que se presentan, se han desarrollado nuevos materiales y aditivos para el hormigón. Estos materiales se adicionan con el objetivo de proporcionar mayores niveles de resistencia y mejorar otras propiedades mecánicas. [13] La presente investigación nos permitirá avanzar en el conocimiento de las características que presenta un hormigón convencional frente al hormigón ligero con piedra pómez al adicionarse diferentes porcentajes de aditivo superplastificante a las mezclas en cuanto a propiedades mecánicas como son el peso y la resistencia a la edad de los 7, 14 y 28 días, para control, comparación y análisis de las mismas. Además de contribuir en el estudio de materiales alternativos factibles a usarse en el campo de la construcción. [14]

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. General**

Comparar el peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de  $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$  con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante.

### **1.2.2. Específicos**

- Establecer la dosificación por el método de la ACI 211 para una resistencia a compresión de diseño de  $240 \text{ kg/cm}^2$  con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante.
- Analizar la trabajabilidad y consistencia del hormigón en estado fresco.
- Determinar la densidad y la resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido a la edad de 7, 14 y 28 días.
- Realizar un análisis de costos para el porcentaje óptimo de aditivo superplastificante en el hormigón convencional y hormigón ligero con piedra pómez.

## **CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.**

### **2.1. Materiales**

#### **2.1.1. El Hormigón Convencional**

Según la NTE INEN 694 es un “Material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos (finos y gruesos); en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.” [15]

Este material se elabora para que en cierto tiempo sea capaz de soportar principalmente esfuerzos de compresión; generalmente se utiliza en estructuras de concreto armado en unión con el acero, para formar una asociación que permita que las estructuras resistan grandes cargas a tensión y compresión. [16]

Está conformado por áridos de densidad normal (arena y grava), cemento y agua, con o sin aditivos. De acuerdo con la ACI 318-19, en Requisitos de Reglamento para concreto estructural, “En general, el concreto de peso normal tiene una densidad mayor a 2160 kg/m<sup>3</sup>.” [17]

La ACI 301S-10 en Especificaciones para Concreto Estructural, menciona que un hormigón se considera estructural, cuando este se use en un elemento para resistir cargas y que tiene una resistencia especificada a la compresión de por lo menos 170 kg/cm<sup>2</sup>. [18]

Para el caso de investigación se denomina al Hormigón Convencional (HC), el mismo que está compuesto por agregados de densidad normal (arena y grava) provenientes del sector Salcedo y Ambato respectivamente, cemento tipo GU, agua potable y aditivo superplastificante. (Anexo, Hoja Técnica)

Los componentes principales para elaborar hormigón son:

##### **2.1.1.1. Cemento**

El cemento es un conglomerante hidráulico utilizado (en conjunto con áridos, agua y aditivos en ciertos casos) para la fabricación de hormigón. Su mezcla con agua forma una pasta de cemento que fragua y endurece por hidratación a causa de las reacciones



químicas de sus constituyentes, tanto al aire como bajo el agua dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables.

Sus materiales conformantes son de naturaleza inorgánica y mineral, tales como: Clinker, yeso y otras adiciones minerales, que se mezclan en proporciones definidas, las cuales se calcinan y muelen hasta obtener un polvo fino de color gris y con propiedades deseadas denominado Cemento. [19]

- **Tipos de Cemento**

Según su evolución en la historia:

**1ra Generación.** - Enfoque en la composición química del producto final. Según las Normas ASTM C 150 y NTE INEN 152, se tienen:

**Tabla 1.-** Tipos de Cemento Portland.

| TIPO  | DESCRIPCIÓN   | NORMA   |      |       |
|-------|---|---|------|-------|
|       |   | INEN  | ASTM |       |
| PUROS | I   | Uso común   | 152  | C 150 |
|       | II  | Moderada resistencia a sulfatos<br>Moderado calor de hidratación. |      |       |
|       | III   | Elevada resistencia inicial.                                      |      |       |
|       | IV  | Bajo calor de hidratación.  |      |       |
|       | V   | Alta resistencia a la acción de los sulfatos.                     |      |       |
|       | Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire. |   |      |       |

Fuente: Normas ASTM C 150 y NTE INEN 152.

**2da Generación.** – Presenta la inclusión de componentes adicionales no tradicionales. Según las Normas ASTM C 595 y NTE INEN 490, se tienen:

**Tabla 2.-** Cementos hidráulicos compuestos.

| TIPO       | DESCRIPCIÓN | NORMA   |      |       |
|------------|-------------|---|------|-------|
|            |             | INEN  | ASTM |       |
| COMPUESTOS | IS          | Pórtland con escoria de altos hornos.                                     | 490  | C 595 |
|            | IP          | Pórtland Puzolánico.  |      |       |
|            | P           | Pórtland Puzolánico (Cuando no se requiere resistencias iniciales altas). |      |       |
|            | I(PM)       | Pórtland Puzolánico modificado  |      |       |
|            | I(SM)       | Pórtland con escoria modificado   |      |       |
|            | S           | Cemento de escoria  |      |       |

Fuente: Normas ASTM C 595 y NTE INEN 490.

**3ra Generación.** – Enfoque en desempeño y necesidades requeridas. Según las Normas ASTM C 1157 y NTE INEN 2380 se tienen:

**Tabla 3.-** Cementos hidráulicos por desempeño.

| TIPO                 |    | DESCRIPCIÓN   | NORMA |        |
|----------------------|----|---|-------|--------|
|                      |    |   | INEN  | ASTM   |
| <b>POR DESEMPEÑO</b> | GU | Uso en construcción en general  | 2380  | C 1157 |
|                      | HE | Elevada resistencia inicial   |       |        |
|                      | MS | Moderada resistencia a los sulfatos   |       |        |
|                      | HS | Alta resistencia a los sulfatos   |       |        |
|                      | MH | Moderado calor de hidratación   |       |        |
|                      | LH | Bajo calor de hidratación   |       |        |
|                      |    | Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos alcali-reactivos. |       |        |

Fuente: Norma ASTM C 1157 y NTE INEN 2380.

#### **2.1.1.2. Agregados**

Los agregados a ser utilizados en la fabricación de hormigón deben cumplir con las especificaciones de la ASTM C 33 y NTE INEN 872.

Los áridos constituyen la estructura o esqueleto granular del hormigón, generalmente inertes y procedentes de la desintegración natural (desgaste) y trituración de rocas que permiten obtener partículas de forma y tamaños estables, y adecuados, destinados a ser empleados en hormigones.

Michael y John, en Materiales para Ingeniería Civil señalan que “En el hormigón de cemento portland, los áridos forman entre el (60% - 75%) del volumen y entre el (79% - 85%) del peso. Actuando especialmente como relleno para reducir la cantidad de pasta de cemento necesaria en la mezcla. Además, de presentar una estabilidad volumétrica mayor que la pasta de cemento. Por tanto, la optimización de la cantidad de agregado mejora, hasta un cierto punto, la calidad de la mezcla, al mismo tiempo que reduce su costo.” [20]

#### **- Clasificación de los agregados según su tamaño:**

##### **Agregado Fino. -**

Según la ASTM C-33: consistirá de arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas. [21] La NTE INEN 1762 lo denomina como “Árido que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8”) y que la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz de 4,75mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75  $\mu$ m (No. 200).” [22]

#### **Agregado Grueso. -**

Según la ASTM C-33: consistirá principalmente de grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos. [23] La NTE INEN 1762 lo denomina como “Árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4).” [24]

Oscar M. González en su review acerca de “Influencia del tamaño de los agregados en la resistencia del Concreto” concluye que para resistencias altas es más económico usar agregados de tamaños pequeños, y que para resistencias bajas es más económico usar agregados de tamaños grandes. Por tanto, se utiliza agregado grueso de Tamaño nominal máximo 19 mm.

#### **- Clasificación de los agregados según su densidad:**

El Instituto Ecuatoriano de Normalización define (NTE INEN 694):

#### **Agregado de densidad normal. -**

Agregados que no tienen una densidad ni alta, ni baja. Posee una densidad relativa (gravedad específica) típica oscila entre 2,4 y 3,0 y una masa unitaria (peso volumétrico) que oscila entre 1 120 kg/m<sup>3</sup> y 1 920 kg/m<sup>3</sup>. [25]

#### **Agregado de baja densidad. -**

Agregado con densidad relativa (gravedad específica) inferior a 2.4 y una masa unitaria (peso volumétrico) menor a 1 120 kg/m<sup>3</sup>, tales como: piedra pómez, escoria, ceniza volcánica, toba, y diatomita; arcilla expandida o sinterizada, pizarra, esquisto, esquisto de diatomea, perlita, vermiculita o escoria y productos finales de combustión de carbón o coque. [26]

### 2.1.1.3. Agua

La aptitud del agua para la fabricación del hormigón depende de su procedencia.

Se permite el uso de:

- i. Agua potable como agua de mezcla del hormigón sin la realización de ensayos para verificar su idoneidad.
- ii. Agua de mezcla que esté compuesta total o parcialmente por fuentes de agua no potable o de las operaciones de producción de hormigón, en cualquier proporción hasta que cumpla con las especificaciones de la NTE INEN 2617. [27]

**a) El agua de amasado.** - Es el agua agregada al elaborar una pasta, siendo sus principales funciones: Reaccionar con el cemento, produciendo su hidratación y contribuir con la trabajabilidad de la mezcla fresca.

**b) El agua de curado.** - Tiene como función aportar con la humedad necesaria durante las primeras edades de endurecimiento para compensar la pérdida de agua por evaporación y permitir que siga produciendo la progresiva hidratación del cemento que va dando lugar al aumento de resistencias mecánicas. [28]

### 2.1.2. El Hormigón Ligero

Está conformado por áridos de baja densidad (piedra pómez), cemento y agua, con o sin aditivos. De acuerdo con la ACI 318-19, en Requisitos de Reglamento para concreto estructural, “El concreto de peso liviano tiene una densidad de equilibrio, entre 1440 a 2160 kg/m<sup>3</sup>.” [29]

La ACI 213R-14 en Guía para Concreto Ligero Estructural, menciona que los niveles de resistencia a la compresión comúnmente requeridos por la industria de la construcción para las resistencias de diseño del hormigón colado in situ, prefabricado o pretensado se obtienen económicamente con el concreto ligero. Las resistencias de diseño de 210 a 350 kg/cm<sup>2</sup> son las más habituales. [30]

Para el caso de investigación se denomina al Hormigón Ligero (HL), el mismo que está compuesto por agregado fino de densidad normal (arena) procedente del sector

Salcedo, agregado grueso de baja densidad (piedra pómez) procedente de Latacunga, cemento tipo GU, agua potable y aditivo superplastificante. (Anexo, Hoja Técnica)

Según Servicio Geológico de los Estados Unidos, en Mineral Commodity Summaries 2021, el Ecuador se encuentra en el quinto lugar a nivel mundial en producción minera de Piedra Pómez. [31] Por lo que en el presente trabajo experimental se propone el uso de piedra pómez para la elaboración de hormigón ligero. La cual es una roca ígnea de origen volcánico de color grisáceo, con alta porosidad, ligera con densidades entre (400-900 Kg/m<sup>3</sup>), friable, eficaz aislante térmico y con propiedades puzolánicas. [32]

### 2.1.3. Aditivo Superplastificante

Al realizar las mezclas para la conformación de hormigones también se pueden añadir aditivos o materiales puzolánicos naturales o artificiales como sustitutivos parciales del cemento con el fin de mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

**Aditivo.-** Producto químico, que no sea cemento Portland, árido o agua, utilizado eventualmente como un ingrediente del mortero u hormigón y que se añade antes o durante su mezclado para mejorar ciertas propiedades. [33]

#### - Tipos de aditivos

**Tabla 4.-** Aditivos según ASTM C494

| <b>TIPO DE ADITIVO</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                        | <b>DEFINICIÓN</b>   |
|------------------------|---|---|
| <b>A</b>               | Aditivos reductores de agua               | Reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada.                                    |
| <b>B</b>               | Aditivos retardantes                      | Retarda el fraguado del hormigón.   |
| <b>C</b>               | Aditivos acelerantes                      | Acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana del hormigón.  |
| <b>D</b>               | Aditivos reductores de agua y retardantes | Reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada y retarda el fraguado del hormigón. |

|          |  |  |
|----------|--|--|
| <b>E</b> | Aditivos reductores de agua y acelerantes                | Reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada y acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana del hormigón. |
| <b>F</b> | Aditivos reductores de agua de alto rango                | Reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada en un 12 % o más.  |
| <b>G</b> | Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes. | Reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12 % o más y retarda el fraguado del concreto.                                 |

Fuente: Norma ASTM C494

Para el trabajo experimental propuesto se utilizará el Aditivo tipo F, que corresponde a Reductor de agua de alto rango, el cual brinda las siguientes características:

- ✓ Aumenta la resistencia inicial del concreto. Incrementa la resistencia final del concreto en un 40% aprox. a los 28 días.
- ✓ Reduce considerablemente la permeabilidad del concreto, aumentando su durabilidad.
- ✓ Densifica el concreto y mejora su adherencia al acero de refuerzo.
- ✓ Reduce en alto grado la exudación y la retracción plástica.
- ✓ Gran economía en los diseños por la reducción de cemento alcanzable.

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Ensayos a los componentes del hormigón

En el presente trabajo experimental se realizarán los siguientes ensayos a los componentes del hormigón según las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), mismas que tienen base de estudio en las normas de la Sociedad Americana para pruebas y materiales (ASTM).

#### 2.2.1.1. Granulometría de los agregados.

El ensayo de granulometría de los agregados de densidad normal (arena, grava) se realizará mediante la aplicación de las normas NTE INEN 872 y NTE INEN 696, mientras que, para el agregado de baja densidad (piedra pómez) será mediante la ASTM C 330.

Este método de ensayo es un proceso en el que una muestra de árido seco sean finos o gruesos, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menor para determinar la distribución del tamaño de las partículas. [34] El tamaño de los tamices está normalizado bajo la NTE INEN 154.

#### - Agregado Fino

##### Tamaño mínimo de la muestra

La NTE INEN 696 establece que para árido fino el tamaño mínimo de la muestra luego de secarla debe ser 300 gramos.

##### Análisis de Tamizado

Para el agregado fino según la ASTM C33, NTE INEN 872, se tiene:

**Tabla 5.-** Gradación [ASTM E11 y NTE INEN 154] y Límites Granulométricos de Agregado Fino según, [ASTM C33 y NTE INEN 872].

| Tamaño de tamices<br>(Aberturas) | Límites Granulométricos<br>ASTM C 33 |
|----------------------------------|--------------------------------------|
|                                  | Porcentaje Pasando (%)               |

| ASTM E 11<br>(pulgadas) | INEN 154<br>(mm) | Límite inferior | Límite superior |
|-------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 3/8"                    | 9.5              | 100             | 100             |
| No. 4                   | 4.75             | 95              | 100             |
| No. 8                   | 2.36             | 80              | 100             |
| No. 16                  | 1.18             | 50              | 85              |
| No. 30                  | 0.6              | 25              | 60              |
| No. 50                  | 0.3              | 5               | 30              |
| No. 100                 | 0.15             | 0               | 10              |

Fuente: Normas ASTM E 11, NTE INEN 154, ASTM C33 y NTE INEN 872.

No se debe tener más del 45% pasando algún tamiz y el retenido en el tamiz siguiente consecutivo de ese mostrado en la Tabla 6.

Mediante el análisis granulométrico del agregado fino se pueden determinar:

#### **Módulo de Finura (MF)**

El módulo de finura es un factor que se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100. Los tamaños de aberturas de mallas a utilizarse para obtener el factor MF del árido fino son: 0.15 mm (No. 100), 0.30 mm (No. 50), 0.60 mm (No. 30), 1,18 (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8"), 19,0 mm (3/4"), 37,5 mm (1 1/2"), 75 mm (3"), 150 mm (6"). [35]

- Formula:

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retenidos acumulados}}{100}$$

El factor MF debe encontrarse en el rango de 2.3 a de 3.1, donde un valor:

- [ $< 2$ ] denota  $\rightarrow$  Arena fina
- [ $=2,5$ ] denota  $\rightarrow$  Arena de finura media
- [ $> 3,0$ ] denota  $\rightarrow$  Arena gruesa.



- **Agregado Grueso**

**Tamaño mínimo de la muestra**

Para agregado grueso se cumplirá según tabla:

**Tabla 6.-** Tamaño mínimo de la muestra para agregado grueso INEN 696.

| <b>Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas</b> |                 | <b>Tamaño de la muestra de ensayo mínimo</b> |
|---|-----------------|--|
| <b>mm</b>   | <b>Pulgadas</b> | <b>kg</b>                                    |
| 9.5   | 3/8"            | 1  |
| 12.5  | 1/2"            | 2  |
| 19  | 3/4"            | 5  |
| 25  | 1"              | 10   |
| 37.5  | 1 1/2"          | 15   |
| 50  | 2"              | 20   |
| 63  | 2 1/2"          | 35   |
| 75  | 3"              | 60   |
| 90  | 3 1/2"          | 100  |
| 100   | 4"              | 150  |
| 125   | 5"              | 300  |

Fuente: Norma NTE INEN 696

**Análisis de Tamizado**

- i. Para el agregado grueso de densidad normal según la ASTM C33, NTE INEN 872, se tiene:

**Tabla 7.-** Gradación [ASTM E11 y NTE INEN 154] y Límites Granulométricos de Agregado Grueso de densidad normal según, [ASTM C33 y NTE INEN 872].

| <b>Número del Tamaño (Huso Granulométrico)</b> |                      | 67                                       |                        |
|--|----------------------|--|------------------------|
| <b>Tamaño de tamices (Aberturas)</b>           |                      | <b>Límites Granulométricos ASTM C 33</b> |                        |
|  |                      | <b>Porcentaje Pasando (%)</b>            |                        |
| <b>ASTM E 11 (pulgadas)</b>                    | <b>INEN 154 (mm)</b> | <b>Límite inferior</b>                   | <b>Límite superior</b> |
| 1"   | 25                   | 100                                      | 100                    |
| 3/4"   | 19                   | 90                                       | 100                    |
| 1/2"   | 12.5                 | -  | -                      |
| 3/8"   | 9.5                  | 20                                       | 55                     |

|       |      |   |    |
|-------|------|---|----|
| No. 4 | 4.75 | 0 | 10 |
| No. 8 | 2.36 | 0 | 5  |

Fuente: Normas ASTM E11 y NTE INEN 154, ASTM C33, NTE INEN 872.

ii. Para el agregado grueso de baja densidad según la ASTM C 330, se tiene:

**Tabla 8.-** Gradación [ASTM E11 y NTE INEN 154] y Límites Granulométricos de Agregado Grueso de baja densidad según, [ASTM C330].

| <b>Tamaño Nominal</b>                |                      | 19mm a 4.75mm                             |                        |
|--------------------------------------|----------------------|---|------------------------|
| <b>Tamaño de tamices (Aberturas)</b> |                      | <b>Límites Granulométricos ASTM C 330</b> |                        |
|                                      |                      | <b>Porcentaje Pasando (%)</b>             |                        |
| <b>ASTM E 11 (pulgadas)</b>          | <b>INEN 154 (mm)</b> | <b>Límite inferior</b>                    | <b>Límite superior</b> |
| 1"                                   | 25                   | 100                                       | 100                    |
| 3/4"                                 | 19                   | 90  | 100                    |
| 1/2"                                 | 12.5                 | -   | -                      |
| 3/8"                                 | 9.5                  | 10  | 50                     |
| No. 4                                | 4.75                 | 0   | 15                     |
| No. 200                              | 0.075                | 0   | 10                     |

Fuente: Norma ASTM C 330

Mediante el análisis granulométrico del agregado grueso se puede determinar:

#### **Tamaño máximo (TM)**

Es el mayor tamaño de las partículas del agregado; esto quiere decir que se estima como la abertura menor de la serie de tamices estándar por la que pasa el 100% del agregado. [36]

#### **Tamaño nominal máximo (TNM)**

El tamaño máximo nominal de un agregado es el menor tamaño de la malla por la cual debe pasar la mayor parte del agregado, esta malla retiene entre 5% a 15% del agregado, es decir, es el tamaño de la malla anterior a la que pasa el 100% del material. [37]

Según ACI 301S el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder 3/4 partes de la mínima distancia libre entre barras de refuerzo, 1/5 de la menor dimensión entre caras del encofrado o 1/3 del espesor de la losa o concreto de contrapiso. [38]

### 2.2.1.2. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

El valor de densidad aparente suelta y compactada de los agregados fino y grueso se obtendrá a través del cumplimiento de las normas NTE INEN 858.

Este método de ensayo sirve para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del árido, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos. Se aplica a áridos que no exceden de un (TNM >125 mm). Se expresa en [kg/m<sup>3</sup>]. [39]

Se calcula a través de la siguiente Fórmula:

$$DA = \frac{\text{Masa suelta o compactada}}{\text{Volumen de recipiente}}$$

$$DA = \frac{[M_{\text{recipiente}} + M_{\text{suelta o compactada}}] - M_{\text{recipiente}}}{\text{Volumen de recipiente}}$$

#### El tamaño de la muestra

Debe ser de aproximadamente 125% a 200% respecto de la cantidad necesaria para llenar el molde y debe ser manejada de tal manera que se evite la segregación. Secar la muestra hasta obtener masa constante, de preferencia en un horno a 110 °C ± 5 °C. [40]

#### - Densidad Aparente Suelta

Es el resultado de la relación existente entre la masa de los agregados y el volumen ocupado sin ningún método de compactación. El procedimiento a utilizarse según ASTM C29 es por paladas.

Para el caso del árido liviano grueso (Piedra Pómez) según ASTM C 330 para el cálculo de la densidad aparente se sigue el procedimiento de la ASTM C29 que corresponde a la NTE INEN 858. Sin, embargo presenta límites de densidad a considerarse en la siguiente tabla:

**Tabla 9.-** Requisitos de Máxima Densidad Aparente seca suelta de Agregados Livianos para Concreto Estructural

| <b>Designación de Tamaño</b>        | <b>Máxima Densidad Aparente Seca Suelta de Agregados Livianos para Concreto Estructural (kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------------------|--|
| Agregado fino                       | 1120   |
| Agregado grueso                     | 880  |
| Agregado combinado de fino y grueso | 1040   |

Fuente: Norma ASTM C 330

**- Densidad aparente compactada de la mezcla**

Es el resultado de la relación existente entre la masa de los agregados y el volumen ocupado aplicando un método de compactación. El procedimiento a utilizarse según ASTM C29 puede ser por varillado o sacudidas.

**2.2.1.3. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso y fino**

Para su determinación nos regiremos a las siguientes Normativas:

- Agregado grueso de peso normal (grava) según NTE INEN 857.
- Agregado grueso de peso ligero (Piedra Pómez) según NTE INEN 857.
- Agregado fino de peso normal (arena) según NTE INEN 856.

Dichas normativas contemplan procedimientos para la obtención de: la densidad promedio de una cantidad de partículas de áridos finos o gruesos, (sin incluir el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de los áridos finos o gruesos. En función al método de ensayo utilizado la densidad (kg/m<sup>3</sup>) y densidad relativa (adimensional), se expresa como secado al horno (SH) o saturada superficialmente seca (SSS). [41]

La NTE INEN 694 menciona que para agregados de densidad normal la gravedad específica se encuentra en el rango de 2.4 a 3.0, mientras que para agregados de baja densidad es menor que 2.4.

La densidad promedio y densidad relativa en estado SH se obtienen luego de secar el agregado, mientras que la densidad promedio, densidad relativa y capacidad de

absorción en estado SSS se obtienen después de saturar el agregado en agua para una duración prescrita.

### **Procedimiento de ensayo para agregados finos y gruesos**

Se sumerge en agua por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ , una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa. [42]

- Para agregado fino:

Luego, se coloca la muestra (o parte de esta) en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico (picnómetro) o volumétrico (frasco de Le Chatelier); [43]

- Para agregado grueso:

Luego, se determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua; [44]

La ACI 211.2 - Práctica estándar para la selección de las proporciones del hormigón ligero estructural, en su apéndice A, menciona en Métodos de flotación para agregados gruesos: “Si se desean muestras de ensayo de áridos gruesos más grandes de las que pueden evaluarse en el picnómetro, puede determinarse mediante los procedimientos de la norma ASTM C 127. [45]

**Tabla 10.-** Masa mínima de muestra de ensayo para agregado grueso ligero.

| <b>Tamaño máximo nominal</b> | <b>Masa mínima de la muestra para ensayo</b> |
|------------------------------|--|
| <b>(mm)</b>                  | <b>(kg)</b>                                  |
| 12.5 o menor                 | 2  |
| 19                           | 3  |
| 25                           | 4  |
| 37.5                         | 5  |
| 50                           | 8  |
| 63                           | 12   |
| 75                           | 18   |
| 90                           | 25   |

|     |    |
|-----|----|
| 100 | 40 |
| 125 | 75 |

Fuente: Norma NTE INEN 857.

Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción. [46]

#### **2.2.1.4. Densidad real del cemento**

El ensayo de densidad real del cemento se realiza bajo las especificaciones de la NTE INEN 156.

La determinación de la densidad de cemento hidráulico consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza. [47]

El tamaño de la muestra para cemento portland, pesar alrededor de 64 g con una aproximación de 0,05 g. En la determinación de la densidad se debe utilizar querosén libre de agua, o nafta, que tenga una densidad mayor que 0,73 g/ cm<sup>3</sup> a 23 °C ± 2 °C. [48]

#### **2.2.1.5. Contenido de humedad**

El ensayo de contenido de humedad de los agregados se realizará mediante la norma NTE INEN 862.

Este método de ensayo consiste en una muestra de masa normalizada en estado natural es secada en horno hasta eliminar la humedad tanto superficial como aquella ubicada entre los poros del árido. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad de árido. [49]

**Tabla 11.-** Tamaño de la muestra de árido para Contenido de Humedad.

| <b>Tamaño máximo nominal del árido.</b> | <b>Masa mínima de la muestra de áridos de densidad normal</b> |
|---|---|
| <b>(mm)</b>                             | <b>(kg)</b>   |
| 4.75                                    | 0.5   |
| 9.5                                     | 1.5   |
| 12.5                                    | 2   |
| <b>19</b>                               | <b>3</b>  |
| 25                                      | 4   |
| 37.5                                    | 6   |
| 50                                      | 8   |
| 63                                      | 10  |
| 75                                      | 13  |
| 90                                      | 16  |
| 100                                     | 25  |
| 150                                     | 50  |

**a.** Basado en Tamices NTE INEN 154.  
**b.** Para áridos de baja densidad, determinar la masa mínima de la muestra multiplicando el valor señalado por la masa unitaria seca (peso volumétrico) del árido, en kg/m<sup>3</sup> (determinado por NTE INEN 858) y dividiendo para 1600.

Fuente: Norma NTE INEN 862.

Se calcula mediante la formula:

$$P = 100 * \frac{W - D}{D}$$

Donde,

P = contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje (%).

W = masa de la muestra original, en gramos (g).

D = masa de la muestra seca, en gramos (g).

### 2.2.2. Dosificación del hormigón

Con el propósito de comparar el hormigón convencional con el hormigón ligero se dosificará por el método propuesto por el comité ACI 211.

#### Condiciones de diseño

Para la elaboración tanto del HC y HL se adopta:

- Resistencia a compresión de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>.
- Asentamiento para elementos estructurales de 8cm.
- Tamaño nominal máximo: 19mm.

#### Requisitos para aplicación del Método ACI 211.

**Tabla 12.-** Ensayos requeridos para el Método de la ACI 211.

| <b>NOMENCL-<br/>ATURA</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                          | <b>VALOR</b>   | <b>UNIDAD</b>     |
|---------------------------|---|----------------|-------------------|
| MFA                       | Módulo de Finura de la Arena                | <b>2.35</b>    | -                 |
| DRC                       | Densidad Real del Cemento                   | <b>2.68</b>    | -                 |
| DRA                       | Densidad Real de la Arena                   | <b>2.37</b>    | -                 |
| DRR                       | Densidad Real del Ripio                     | <b>2.65</b>    | -                 |
| DRP                       | Densidad Real de la Piedra Pómez            | <b>1.12</b>    | -                 |
| DARc                      | Densidad Aparente del Ripio compactado      | <b>1476.26</b> | kg/m <sup>3</sup> |
| DAPs                      | Densidad Aparente de la Piedra Pómez suelta | <b>519.29</b>  | kg/m <sup>3</sup> |
| CAA                       | Capacidad de Absorción de la Arena          | <b>1.26</b>    | %                 |
| CAR                       | Capacidad de Absorción del Ripio            | <b>1.67</b>    | %                 |
| CAP                       | Capacidad de Absorción de la Piedra Pómez   | <b>19.47</b>   | %                 |
| CHA                       | Contenido de Humedad de la Arena            | <b>10.39</b>   | %                 |
| CHR                       | Contenido de Humedad del Ripio              | <b>1.84</b>    | %                 |
| CHP                       | Contenido de Humedad de la Piedra Pómez     | <b>18.68</b>   | %                 |

Fuente: Trabajo Experimental-Dayana Benalcázar.

#### a) Aspectos importantes a tener en cuenta:

- Debe dosificarse de manera tal que el hormigón alcance una resistencia promedio ( $f'_{cr}$ ) mayor que la resistencia requerida ( $f'_c$ ).

Si no se posee registros de la desviación estándar ( $S_s$ ), el  $f'_{cr}$  debe determinarse a través de la siguiente tabla:



**Tabla 13.-** Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

| Resistencia especificada a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia promedio requerida a la compresión, (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|---|
| $f'_c < 210$   | $f'_{cr} = f'_c + 70.0$   |
| $210 \leq f'_c \leq 350$                                       | $f'_{cr} = f'_c + 83.0$   |
| $f'_c > 350$   | $f'_{cr} = 1.10 * f'_c + 50.0$  |

Fuente: Requisito de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-08, Pág: 72.

Como  $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Entonces  $f'_{cr} = f'_c + 83.0$

$$f'_{cr} = 240 + 83$$

$$f'_{cr} = 323 \text{ kg/cm}^2 \text{ para HC y HLE.}$$

#### 2.2.2.1. Dosificación del hormigón convencional

La dosificación del HC será por el método propuesto por la ACI 211.1.- Práctica estándar para la Selección de Proporciones para Concreto de peso normal y masivo.

**Paso 1.-** Elección del revenimiento:

**Tabla 14.-** Revenimiento recomendado según el tipo de construcción.

| Tipo de Construcción                                | Asentamiento máx. (cm) | Asentamiento mín. (cm) |
|---|------------------------|------------------------|
| Fundaciones, zapatas reforzadas y muros.            | 8                      | 2                      |
| Zapatas simples, caissons y muros de subestructura. | 8                      | 2                      |
| Losas, vigas y paredes reforzadas.                  | 10                     | 2                      |
| Columnas de Edificios                               | 10                     | 2                      |
| Pavimentos  | 8                      | 2                      |
| Construcción en masa                                | 5                      | 2                      |

Fuente: Dosificación de Mezclas, Raúl Camaniero. Pág, 41.

Para el caso de análisis el Revenimiento considerado es de **8cm**.

**Paso 2.-** Elección del Tamaño máximo nominal del agregado:

**Tabla 15.-** Tamaño nominal máximo según tipo de construcción.

| Dimensión mínima de la sección (A) (cm) | Tamaño máximo nominal del agregado (mm) |                    |                           |                           |
|---|---|--------------------|---------------------------|---------------------------|
|   | Paredes, vigas y columnas reforzadas    | Muros sin refuerzo | Losas fuertemente armadas | Losas ligeramente armadas |
| 6 - 13                                  | 13 - 19                                 | 20                 | 20 - 25                   | 19 - 38                   |
| 15 - 28                                 | 19 - 38                                 | 38                 | 38                        | 38 - 76                   |
| 30 - 74                                 | 38 - 76                                 | 76                 | 38 - 76                   | 76                        |
| 76 - o más                              | 38 - 76                                 | 150                | 38 - 76                   | 76 - 150                  |

Fuente: Dosificación de Mezclas, Raúl Camaniero. Pág, 42.

El tamaño nominal máximo en la presente investigación se obtuvo mediante análisis granulométrico, de **19 mm**.

**Paso 3.-** Determinación del agua de mezcla y cantidad de aire.

**Tabla 16.-** Cantidades aprox. de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de granulado grueso.

| Asentamiento (cm)                          | Agua, litros por m3 de hormigón para los tamaños máximos nominales indicados en mm. |      |     |     |     |     |     |     |
|--|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 10  | 12.5 | 20  | 25  | 38  | 50  | 70  | 150 |
| <b>Hormigón sin inclusión de aire.</b>     |   |      |     |     |     |     |     |     |
| 2 a 5                                      | 205   | 200  | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 | 125 |
| 8 a 10                                     | 225   | 215  | 200 | 195 | 175 | 170 | 160 | 140 |
| 15 a 18                                    | 240   | 230  | 210 | 205 | 185 | 180 | 170 | -   |
| <b>Cantidad aprox. de aire atrapado, %</b> | 3.0   | 2.5  | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| <b>Hormigón con aire incluido.</b>         |   |      |     |     |     |     |     |     |
| 2 a 5                                      | 180   | 175  | 165 | 160 | 145 | 140 | 135 | 120 |
| 8 a 10                                     | 200   | 190  | 180 | 175 | 160 | 155 | 150 | 135 |
| 15 a 18                                    | 215   | 205  | 190 | 185 | 170 | 165 | 160 | -   |
| <b>Nivel de exposición</b>                 | <b>Contenido de aire total promedio recomendado para el nivel de exposición, %</b>  |      |     |     |     |     |     |     |
| Exposición leve                            | 4.5   | 4.0  | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| Exposición moderada                        | 6.0   | 5.5  | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 |
| Exposición extrema                         | 7.5   | 7.0  | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |

Fuente: Dosificación de Mezclas, Raúl Camaniero. Pág, 43.

El agua de mezclado correspondiente a TMN = 19mm y Revenimiento = 8cm, es de **200 lt/m<sup>3</sup>** con contenido de aire de **2.0 %**.

**Paso 4.-** Relación agua / cemento (w/c):

**Tabla 17.-** Relación agua/ cemento en función a la Resistencia a compresión.

| <b>f'c</b>               | <b>Relación</b>     |
|--------------------------|---------------------|
| <b>Kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>Agua/Cemento</b> |
| 450                      | 0.37                |
| 420                      | 0.40                |
| 400                      | 0.42                |
| 350                      | 0.46                |
| 320                      | 0.50                |
| 300                      | 0.51                |
| 280                      | 0.52                |
| 250                      | 0.55                |
| 240                      | 0.56                |
| 210                      | 0.58                |
| 180                      | 0.60                |

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales Universidad Central del Ecuador.

Para f'cr = 323 kg/cm<sup>2</sup> por interpolación se obtiene:

|       |       |
|-------|-------|
| 350   | 0.46  |
| 320   | 0.50  |
| <hr/> |       |
| 30    | -0.04 |
| 3     | x     |

$$x = \frac{3 * (-0.04)}{30}$$

$$x = -0.004$$

$$\frac{w}{c} = 0.50 - 0.004 = 0.496 \rightarrow \mathbf{0.50}$$

**Paso 5.-** Contenido de Cemento:

$$\frac{w}{c} = 0.50$$

$$C = \frac{w}{0.50}$$

$$C = \frac{200 \text{ kg/m}^3}{0.50}$$

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

**Paso 6.-** Contenido de ripio:

**Tabla 18.-** Volumen aparente seco compactado del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón.

| Tamaño nominal máximo del Ripio (mm) | Volumen Aparente del Ripio seco compactado para diferentes Módulos de finura de la Arena (m3) |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
|                                      | 2.40  | 2.50 | 2.60 | 2.70 | 2.80 | 2.90 | 3.00 | 3.10 |
| 10.0                                 | 0.50  | 0.49 | 0.48 | 0.47 | 0.46 | 0.45 | 0.44 | 0.43 |
| 12.5                                 | 0.59  | 0.58 | 0.57 | 0.56 | 0.55 | 0.54 | 0.53 | 0.52 |
| 19.0                                 | 0.66  | 0.65 | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.61 | 0.60 | 0.59 |
| 25.0                                 | 0.71  | 0.70 | 0.69 | 0.68 | 0.67 | 0.66 | 0.65 | 0.64 |
| 38.0                                 | 0.76  | 0.75 | 0.74 | 0.73 | 0.72 | 0.71 | 0.70 | 0.69 |
| 50.0                                 | 0.78  | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.74 | 0.73 | 0.72 | 0.71 |
| 70.0                                 | 0.81  | 0.80 | 0.79 | 0.78 | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.74 |
| 150.0                                | 0.87  | 0.86 | 0.85 | 0.84 | 0.83 | 0.82 | 0.81 | 0.80 |

Fuente: Dosificación de Mezclas, Raúl Camaniero. Pág, 48.

Para TMN= 19mm y MF= 2.35, el **VACR= 0.66 m3**.

$$R = \text{DARC} * \text{VASCR}$$

$$R = 1476.26 \text{ kg/m}^3 * 0.66 \text{ m}^3$$

$$R = 974.33 \text{ kg en } 1\text{m}^3.$$

**Paso 7. –**Contenido de Arena:

Cálculo por diferencia de volúmenes:

$$VC = \frac{C}{\text{DRC}} = \frac{400 \text{ kg/m}^3}{2.68} = 149.25 \text{ Lt/m}^3$$

$$VW = \frac{W}{\text{DRW}} = \frac{200 \text{ kg/m}^3}{1.00} = 200 \text{ Lt/m}^3$$

$$VR = \frac{R}{DRR} = \frac{974.33 \text{ kg/m}^3}{2.65} = 367.67 \text{ Lt/m}^3$$

$$Vaire = Aire * 1000 = 0.02 * 1000 = 20 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Suma} = VC + VW + VR + Vaire$$

$$= 149.25 + 200 + 367.67 + 20 = 736.92 \text{ Lt/m}^3$$

$$VA = 1000 - \text{Suma} = 1000 - 736.92 \text{ Lt/m}^3 = 263.08 \text{ Lt/m}^3$$

$$= 263.08 \text{ Lt/m}^3 * 2.37 = \mathbf{623.50 \text{ Lt/m}^3}$$

Para 1 metro cúbico de hormigón convencional  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  se tiene:

**Tabla 19.-** Cantidades de material para 1 m<sup>3</sup> de hormigón convencional.

| Material | Cantidad | Unidad |
|----------|----------|--------|
| Cemento  | 400      | kg     |
| Arena    | 623.5    | kg     |
| Ripio    | 974.33   | kg     |
| Agua     | 200      | lt     |

Fuente: Trabajo Experimental -Dayana Benalcázar.

#### 2.2.2.2. Dosificación del hormigón ligero

La dosificación del HL será por el método propuesto por la ACI 211.2-98.- Práctica estándar para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano, el cual aplicables a los hormigones que contienen áridos ligeros o una combinación de áridos ligeros y normales.

**Método 1-** Método del peso (picnómetro de gravedad específica). - Agregado grueso ligero y agregado fino de peso normal.

#### **Procedimiento de dosificación:**

**Paso 1.-** Elección del asentamiento, cuando no se tenga especificado el asentamiento se puede seleccionar de la siguiente tabla:

**Tabla 20.-** Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción según ACI 211.2-98.

| Tipos de Construcción    | Asentamiento, cm |        |
|--------------------------|------------------|--------|
|                          | Máximo           | Mínimo |
| Vigas y muros reforzados | 10               | 2.5    |
| Columnas de edificios    | 10               | 2.5    |
| Losas de piso            | 7.5              | 2.5    |

Fuente: Norma ACI 211.2-98.

✓ Asentamiento propuesto: **8 cm**

**Paso 2.-** Elección del tamaño máximo nominal de los áridos ligeros, cuando se desea un hormigón de alta resistencia, pueden obtenerse mejores resultados con tamaños máximos nominales reducidos de los áridos.

✓ Tamaño máximo nominal propuesto: **19 mm**

**Paso 3.-** Estimación del agua de amasado y contenido de aire. La tabla que se presenta a continuación proporciona estimaciones del agua de amasado necesaria para hormigones fabricados con diversos tamaños máximos nominales de áridos, con y sin aire atrapado.

**Tabla 21.-** Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de los áridos.

| Asentamiento, cm                   | Agua, kg/m <sup>3</sup> de hormigón para los tamaños máximos nominales de los áridos indicados. |               |             |
|------------------------------------|---|---------------|-------------|
|                                    | 9.5mm (3/8")  | 12.7mm (1/2") | 19mm (3/4") |
| <b>Hormigón con aire incluido.</b> |   |               |             |
| 2.5 a 5                            | 181   | 175           | 166         |
| 7.5 a 10                           | 202   | 193           | 181         |
| 12.5 a 15                          | 211   | 199           | 187         |
| Nivel de exposición                | Contenido de aire total recomendado, en porcentaje, para el nivel de exposición, %              |               |             |
| Exposición leve                    | 4.5   | 4.0           | 4.0         |
| Exposición moderada                | 6.0   | 5.5           | 5.0         |
| Exposición extrema                 | 7.5   | 7.0           | 6.0         |
| <b>Hormigón sin aire incluido.</b> |   |               |             |
| 2.5 a 5                            | 208   | 199           | 187         |

|  |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|
| 7.5 a 10   | 228 | 217 | 202 |
| 12.5 a 15  | 237 | 222 | 208 |
| <b>Cantidad aproximada de aire contenido en el hormigón sin aire, en porcentaje, %</b> | 3.0 | 2.5 | 2.0 |

Fuente: Norma ACI 211.2-98.

Para realizar el análisis comparativo, se realiza un hormigón sin aire atrapado, con tamaño máximo nominal de agregado de 19 mm y asentamiento de 8 cm.

El agua de mezclado correspondiente es de **202 kg/m<sup>3</sup>**, con contenido de aire de **2%**.

**Paso 4.-** Selección de la relación agua/cemento aproximado. Como se muestra a continuación:

**Tabla 22.-** Relación entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del hormigón.

| Resistencia a compresión a los 28 días, Kg/cm <sup>2</sup> | Relación agua/cemento aproximado, en peso. |                            |
|--|--|----------------------------|
|  | Hormigón sin aire atrapado                 | Hormigón con aire atrapado |
| 414  | 0.41                                       | -                          |
| 345  | 0.48                                       | 0.4                        |
| 276  | 0.57                                       | 0.48                       |
| 207  | 0.68                                       | 0.59                       |
| 138  | 0.82                                       | 0.74                       |

Fuente: ACI 211.2-98, Pág 6.

Los valores son las resistencias medias estimadas para un hormigón que no contenga más de un 2% de aire en el caso del hormigón sin aire y un 6% de contenido total de aire en el caso del hormigón con aire.

En función a  $f'_{cr} = 323 \text{ kg/cm}^2$  se obtiene por interpolación:

|       |       |
|-------|-------|
| 345   | 0.48  |
| 276   | 0.57  |
| <hr/> |       |
| 69    | -0.09 |
| 47    | x     |

$$x = \frac{47 * (-0.09)}{69}$$

$$x = -0.061$$

$$\frac{w}{c} = 0.57 - 0.061 = 0.5086 \rightarrow \mathbf{0.51}$$

**Paso 5.-** Cálculo del contenido de cemento,

Se calcula el contenido de cemento mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{w}{\frac{w}{c} \text{ para } f'cr}$$

$$C = \frac{202 \text{ kg/m}^3}{0.51}$$

$$\mathbf{C = 396.08 \text{ kg/m}^3}$$

**Paso 6.-** Estimación del contenido de áridos gruesos ligeros:

**Tabla 23.-** Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón.

| Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.) | Volumen de áridos gruesos sueltos secados al horno por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena. |      |      |      |
|---|---|------|------|------|
|   | 2.40  | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 9.5mm (3/8")                              | 0.58  | 0.56 | 0.54 | 0.52 |
| 12.5mm (1/2")                             | 0.67  | 0.65 | 0.63 | 0.61 |
| 19mm (3/4")                               | 0.74  | 0.72 | 0.70 | 0.68 |

Fuente: ACI 211.2-98, Pág 6.

El volumen de áridos, en metros cúbicos, sobre una base suelta seca en horno, para un volumen unitario de hormigón es igual al valor de la tabla 24 por 1m<sup>3</sup>.

Para TMN= 19mm y MF= 2.35, el **VASSP= 0.74 m<sup>3</sup>**.

$$P1 = DAPs * VASSP$$

$$P1 = 519.29 \text{ kg/m}^3 * 0.74 \text{ m}^3$$

$$P1 = 384.27 \text{ kg en } 1\text{m}^3.$$

$$P = P1 * (1 + CAP)$$



$$P = 384.27 * (1 + 0.1947)$$

$$P = 459.09 \text{ kg/m}^3$$

**Paso 7.-** Estimación del contenido de áridos finos, luego de obtener el paso 6, se han estimado todos los componentes del hormigón, excepto el árido fino.

Cálculo por diferencia de volúmenes:

$$VC = \frac{C}{DRC} = \frac{396.08 \text{ kg/m}^3}{2.68} = 147.79 \text{ Lt/m}^3$$

$$VW = \frac{W}{DRW} = \frac{202 \text{ kg/m}^3}{1.00} = 202 \text{ Lt/m}^3$$

$$VP = \frac{P}{DRP} = \frac{459.09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.12} = 409.90 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}$$

$$Vaire = Aire * 1000 = 0.02 * 1000 = 20 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Suma} = VC + VW + VP + Vaire$$

$$= 147.79 + 202 + 409.90 + 20 = 779.69 \text{ Lt/m}^3$$

$$VA = 1000 - \text{Suma} = 1000 - 779.69 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 220.31 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}$$

$$= 220.31 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3} * 2.37 = 522.13 \text{ Lt/m}^3$$

Para 1 metro cúbico de hormigón ligero  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  se tiene:

**Tabla 24.-** Cantidades de material para 1 m<sup>3</sup> hormigón ligero.

| Material | Cantidad | Unidad |
|----------|----------|--------|
| Cemento  | 396.08   | kg     |
| Arena    | 522.13   | kg     |
| Pómez    | 459.09   | kg     |
| Agua     | 202      | lt     |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

## **Muestras o especímenes de hormigón**

En la siguiente tabla se presenta el número total de cilindros para realizar el "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."

La Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural ACI 330, determina "La resistencia a la compresión y la densidad deben ser una media de al menos tres especímenes." [50]

El Aditivo Superplastificante, en su hoja técnica recomienda una dosificación de: 0,5 al 1,0% del peso del cemento como superplastificante y de 1,0 al 2,0% del peso del cemento como reductor de agua de alto poder.

El artículo "Effect of Superplasticizer on Fresh and Hardened Properties of Concrete" estudia la influencia de la dosis de superplastificante de 0.6, 0.8, 1.2, 1.8 y 2.5 porcentajes en el rendimiento del hormigón. Se obtiene una resistencia superior a la requerida con el 0.8% de aditivo superplastificante.

En "Efecto del aditivo superplastificante Sika viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante." Con el objeto de evaluar la variación de la resistencia a compresión se tienen porcentajes del 1, 1.5 y 2% de aditivo en función al peso del cemento. El porcentaje óptimo obtenido es del 1% que es un 10% superior que la resistencia requerida.

Razones por las que se propone realizar las muestras para especímenes de la siguiente manera:

- 27 cilindros para el Hormigón convencional correspondientes al 0, 0.8 y 1% de superplastificante, ensayados a los 7, 14 y 28 días de edad.
- 27 cilindros para el Hormigón ligero estructural correspondientes al 0, 0.8 y 1% de superplastificante, ensayados a los 7, 14 y 28 días de edad.

**Tabla 25.-** Total de muestras propuestas en el Trabajo Experimental.

| Resistencia a compresión y densidad | Aditivo SP. | Edades de Curado para Resistencia a Compresión (días) |    |    | # de Cilindros por parada |
|-------------------------------------|-------------|---|----|----|---------------------------|
|                                     | %           | 7   | 14 | 28 |                           |
| HC                                  | 0           | 3   | 3  | 3  | 9                         |
|                                     | 0.8         | 3   | 3  | 3  | 9                         |
|                                     | 1.0         | 3   | 3  | 3  | 9                         |
| HL                                  | 0           | 3   | 3  | 3  | 9                         |
|                                     | 0.8         | 3   | 3  | 3  | 9                         |
|                                     | 1.0         | 3   | 3  | 3  | 9                         |
| <b>Total de Cilindros</b>           |             |   |    |    | 54                        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Nota:** Para efecto de procesamiento de datos obtenidos de cada cilindro se procede a denominarlos de la siguiente manera: HC para los hormigones convencionales o HL para hormigones ligeros, seguido del porcentaje de superplastificante HC0 o HL0 y finalmente seguido por la edad de rotura de cada uno HC0-7 o HL0-7.

Siendo el HC 08-14 = Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante ensayado a los 14 días de edad. Y el HL 1-28 = Hormigón Ligeró con 1% de superplastificante ensayado a los 28 días de edad.

De modo que:

- **Para Hormigón Convencional se tiene:**

Molde de cilindro de dimensiones D= 10cm x h= 20cm.

Para el volumen necesario se toma en cuenta 10 cilindros más el 5% por desperdicios de hormigón.

**Tabla 26.-** Volumen y dosificación al peso necesario de H. Convencional por parada.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |   |                       |               |
|--|---|-----------------------|---------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |                       |               |
| <b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F'C=240</b>  |   |                       |               |
| <b>MÉTODO</b>  | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto de peso normal y masivo. |                       |               |
| <b>REALIZADO:</b>  | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango  | <b>FECHA:</b>         | 30/11/2021    |
| <b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>  |   |                       |               |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>   | 0.0016  | <b>DÍAS DE CURADO</b> |               |
| <b>Días de curado</b>  | 7   | 14                    | 28            |
| <b>Número de Cilindros</b>   | 3   | 3                     | 3             |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>   | <b>10</b>   |                       |               |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>   | <b>0.0165</b>   |                       |               |
| <b>DOSIFICACIÓN AL PESO PARA LOS CILINDROS</b>   |   |                       |               |
| <b>MATERIALES</b>  | <b>CANTIDAD NECESARIA POR PARADA</b>  |                       | <b>UNIDAD</b> |
| Cemento  | 6.60  |                       | Kg            |
| Agua   | 3.30  |                       | Lts           |
| Arena  | 10.28   |                       | Kg            |
| Ripio  | 16.07   |                       | Kg            |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Nota:** Se realizó inicialmente una mezcla de prueba de hormigón ligero con agregados en estado húmedo y aplicando la corrección de humedad. Se pudo observar que por la elevada porosidad de la piedra pómez se alteró la relación w/c por lo que se propuso realizar ambos tipos de hormigón con los agregados en estado Saturado superficialmente seco (s.s.s).

**Cantidad de material para 10 cilindros de HC con 0% de Superplastificante:**

**Tabla 27.-** Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Convencional con 0% de Aditivo Superplastificante.

| <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>   |   |   |                  |                     |
|--|---|---|------------------|---------------------|
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>INGENIERÍA CIVIL</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f_c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |   |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F'C=240</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>MÉTODO</b>  | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto de peso normal y masivo. |   |                  |                     |
| <b>REALIZADO:</b>  | Dayana Pamela Benalcázar Q.   | <b>FECHA:</b>   | 30/11/2021       |                     |
| <b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>   | 0.0016  | <b>DÍAS DE CURADO</b>   |                  |                     |
| <b>Días de curado</b>  |   | <b>7</b>  | <b>14</b>        | <b>28</b>           |
| <b>Número de Cilindros</b>   |   | 3   | 3                | 3                   |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>   |   | 10  |                  |                     |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>   |   | 0.0165  |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA H. CONVENCIONAL CON 0% SP.</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>MATERIALES</b>  | <b>CANT. NECESARIA POR PARADA</b>   | <b>CANT. NECESARIA Y CORREG. POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO</b> |                  | <b>UNIDAD</b>       |
| Cemento  | 6.60  | <b>6.60</b>   |                  | <b>Kg</b>           |
| Agua   | 3.30  | <b>3.30</b>   |                  | <b>Lts</b>          |
| Arena  | 10.28   | <b>10.28</b>  |                  | <b>Kg</b>           |
| Ripio  | 16.07   | <b>16.07</b>  |                  | <b>Kg</b>           |
| Aditivo Superplastificante   | -   | <b>0.00</b>   |                  | <b>Lts</b>          |
| <b>ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>NOMBRE</b>  | <b>% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO</b>   | <b>DENSIDAD ADITIVO (Kg/Ltr)</b>                                    | <b>PESO (Kg)</b> | <b>VOLUMEN (Lt)</b> |
| Superplastificante   | 0.00%   | 1.20  | 0.00             | <b>0.00</b>         |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Cantidad de material para 10 cilindros de HC con 0.8% de Superplastificante:**

**Tabla 28.-** Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Convencional con 0.8% de Aditivo Superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |   |   |                  |                     |
|---|---|---|------------------|---------------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |   |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F'C=240</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>MÉTODO</b>   | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto de peso normal y masivo. |   |                  |                     |
| <b>REALIZADO:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar Q.   | <b>FECHA:</b>   | 30/11/2021       |                     |
| <b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>  | 0.0016  | <b>DÍAS DE CURADO</b>   |                  |                     |
| <b>Días de curado</b>   |   | <b>7</b>  | <b>14</b>        | <b>28</b>           |
| <b>Número de Cilindros</b>  |   | 3   | 3                | 3                   |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>  |   | 10  |                  |                     |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>  |   | 0.0165  |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA H. CONVENCIONAL CON 0.8% SP.</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>MATERIALES</b>   | <b>CANT. NECESARIA POR PARADA</b>   | <b>CANT. NECESARIA Y CORREG. POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO</b> |                  | <b>UNIDAD</b>       |
| Cemento   | 6.60  | <b>6.55</b>   |                  | <b>Kg</b>           |
| Agua  | 3.30  | <b>3.30</b>   |                  | <b>Lts</b>          |
| Arena   | 10.28   | <b>10.28</b>  |                  | <b>Kg</b>           |
| Ripio   | 16.07   | <b>16.07</b>  |                  | <b>Kg</b>           |
| Aditivo Superplastificante  | -   | <b>0.053</b>  |                  | <b>Lts</b>          |
| <b>ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>NOMBRE</b>   | <b>% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO</b>   | <b>DENSIDAD ADITIVO (Kg/Ltr)</b>                                    | <b>PESO (Kg)</b> | <b>VOLUMEN (Lt)</b> |
| Superplastificante  | 0.80%   | 1.20  | 0.053            | <b>0.044</b>        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Cantidad de material para 10 cilindros de HC con 1% de Superplastificante:**

**Tabla 29.-** Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Convencional con 1.0% de Aditivo Superplastificante.

| <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  |   |   |                  |                     |
|---|---|---|------------------|---------------------|
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>INGENIERÍA CIVIL</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |   |                  |                     |
| <b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>  | 0.0016                                  | <b>DÍAS DE CURADO</b>   |                  |                     |
| <b>Días de curado</b>   |   | <b>7</b>  | <b>14</b>        | <b>28</b>           |
| <b>Número de Cilindros</b>  |   | 3   | 3                | 3                   |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>  |   | 10  |                  |                     |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>  |   | 0.0165  |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA H. CONVENCIONAL CON 1 % SP.</b>  |   |   |                  |                     |
| <b>MATERIALES</b>   | <b>CANT. NECESARIA POR PARADA</b>       | <b>CANT. NECESARIA Y CORREG. POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO</b> |                  | <b>UNIDAD</b>       |
| Cemento   | 6.60                                    | <b>6.53</b>   |                  | <b>Kg</b>           |
| Agua  | 3.30                                    | <b>3.30</b>   |                  | <b>Lts</b>          |
| Arena   | 10.28                                   | <b>10.28</b>  |                  | <b>Kg</b>           |
| Ripio   | 16.07                                   | <b>16.07</b>  |                  | <b>Kg</b>           |
| Aditivo Superplastificante  | -                                       | <b>0.066</b>  |                  | <b>Lts</b>          |
| <b>ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE</b>   |   |   |                  |                     |
| <b>NOMBRE</b>   | <b>% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO</b> | <b>DENSIDAD ADITIVO (Kg/Ltr)</b>                                    | <b>PESO (Kg)</b> | <b>VOLUMEN (Lt)</b> |
| Superplastificante  | 1.00%                                   | 1.20  | 0.066            | <b>0.055</b>        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

- Para Hormigón Ligero se tiene:

Molde de cilindro de dimensiones D= 10cm x h= 20cm.

**Tabla 30.-** Volumen y Dosificación al peso necesario de Hormigón Ligero por parada.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |   |                |            |
|---|---|----------------|------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |   |                |            |
| INGENIERÍA CIVIL  |   |                |            |
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |                |            |
| DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN LIGERO F'C=240  |   |                |            |
| MÉTODO  | Práctica estándar para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano |                |            |
| REALIZADO:  | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango  | FECHA:         | 30/11/2021 |
| VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA  |   |                |            |
| Volumen por Cilindro (m3)   | 0.0016  | DÍAS DE CURADO |            |
| Días de curado  | 7   | 14             | 28         |
| Número de Cilindros   | 3   | 3              | 3          |
| Total de Cilindros por parada   | 10  |                |            |
| Volumen de Hormigón por Parada (m3)   | 0.0165  |                |            |
| DOSIFICACIÓN AL PESO PARA LOS CILINDROS   |   |                |            |
| MATERIALES  | CANTIDAD NECESARIA POR PARADA   |                | UNIDAD     |
| Cemento   | 6.53  |                | Kg         |
| Agua  | 3.33  |                | Lts        |
| Arena   | 8.61  |                | Kg         |
| P. Pómez  | 7.57  |                | Kg         |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.



**Cantidad de material para 10 cilindros de HL con 0% de Superplastificante:**

**Tabla 31.-** Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Ligero con 0% de Aditivo Superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |  |  |            |              |
|---|--|--|------------|--------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |  |  |            |              |
| INGENIERÍA CIVIL  |  |  |            |              |
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |  |            |              |
| DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN LIGERO F'C=240  |  |  |            |              |
| <b>MÉTODO</b>   | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano |  |            |              |
| <b>REALIZADO:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar Q.  | <b>FECHA:</b>  | 30/11/2021 |              |
| VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA  |  |  |            |              |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>  | 0.0016   | <b>DÍAS DE CURADO</b>  |            |              |
| <b>Días de curado</b>   |  | <b>7</b>   | <b>14</b>  | <b>28</b>    |
| <b>Número de Cilindros</b>  |  | 3  | 3          | 3            |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>  |  | 10   |            |              |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>  |  | 0.0165   |            |              |
| DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA H. LIGERO CON 0% SP.  |  |  |            |              |
| MATERIALES  | CANT. NECESARIA POR PARADA   | CANT. NECESARIA Y CORREG. POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO |            | UNIDAD       |
| Cemento   | 6.53   | <b>6.53</b>  |            | <b>Kg</b>    |
| Agua  | 3.33   | <b>3.33</b>  |            | <b>Lts</b>   |
| Arena   | 8.61   | <b>8.61</b>  |            | <b>Kg</b>    |
| P. Pómez  | 7.57   | <b>7.57</b>  |            | <b>Kg</b>    |
| Aditivo Superplastificante  | -  | <b>0.00</b>  |            | <b>Lts</b>   |
| ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE  |  |  |            |              |
| NOMBRE  | % DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO   | DENSIDAD ADITIVO (Kg/Ltr)                                    | PESO (Kg)  | VOLUMEN (Lt) |
| Superplastificante  | 0.00%  | 1.20   | 0.00       | <b>0.00</b>  |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Cantidad de material para 10 cilindros de HL con 0.8% de Superplastificante:**

**Tabla 32.-** Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Ligero con 0.8% de Aditivo Superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |  |  |            |              |
|---|--|--|------------|--------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |  |  |            |              |
| INGENIERÍA CIVIL  |  |  |            |              |
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |  |            |              |
| DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN LIGERO F'C=240  |  |  |            |              |
| <b>MÉTODO</b>   | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano |  |            |              |
| <b>REALIZADO:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango   | <b>FECHA:</b>  | 30/11/2021 |              |
| VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA  |  |  |            |              |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>  | 0.0016   | DÍAS DE CURADO   |            |              |
| <b>Días de curado</b>   |  | 7  | 14         | 28           |
| <b>Número de Cilindros</b>  |  | 3  | 3          | 3            |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>  |  | 10   |            |              |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>  |  | 0.0165   |            |              |
| DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA H. LIGERO CON 0.8% SP.  |  |  |            |              |
| MATERIALES  | CANT. NECESARIA POR PARADA   | CANT. NECESARIA Y CORREG. POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO |            | UNIDAD       |
| Cemento   | 6.53   | 6.48   |            | Kg           |
| Agua  | 3.33   | 3.33   |            | Lts          |
| Arena   | 8.61   | 8.61   |            | Kg           |
| P. Pómez  | 7.57   | 7.57   |            | Kg           |
| Aditivo Superplastificante  | -  | 0.052  |            | Lts          |
| ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE  |  |  |            |              |
| NOMBRE  | % DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO   | DENSIDAD ADITIVO (Kg/Ltr)                                    | PESO (Kg)  | VOLUMEN (Lt) |
| Superplastificante  | 0.80%  | 1.20   | 0.052      | 0.044        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Cantidad de material para 10 cilindros de HL con 1% de Superplastificante:**

**Tabla 33.-** Dosificación al peso para 10 cilindros de Hormigón Ligero con 1.0% de Aditivo Superplastificante.

| <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  |  |   |                  |                     |
|---|--|---|------------------|---------------------|
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  |  |   |                  |                     |
| <b>INGENIERÍA CIVIL</b>   |  |   |                  |                     |
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |   |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN LIGERO F'C=240</b>   |  |   |                  |                     |
| <b>MÉTODO</b>   | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano |   |                  |                     |
| <b>REALIZADO:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango   | <b>FECHA:</b>   | 30/11/2021       |                     |
| <b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>   |  |   |                  |                     |
| <b>Volumen por Cilindro (m3)</b>  | 0.0016   | <b>DÍAS DE CURADO</b>   |                  |                     |
| <b>Días de curado</b>   |  | <b>7</b>  | <b>14</b>        | <b>28</b>           |
| <b>Número de Cilindros</b>  |  | 3   | 3                | 3                   |
| <b>Total de Cilindros por parada</b>  |  | 10  |                  |                     |
| <b>Volumen de Hormigón por Parada (m3)</b>  |  | 0.0165  |                  |                     |
| <b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA H. LIGERO CON 1 % SP.</b>  |  |   |                  |                     |
| <b>MATERIALES</b>   | <b>CANT. NECESARIA POR PARADA</b>  | <b>CANT. NECESARIA Y CORREG. POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO</b> |                  | <b>UNIDAD</b>       |
| Cemento   | 6.53   | <b>6.46</b>   |                  | <b>Kg</b>           |
| Agua  | 3.33   | <b>3.33</b>   |                  | <b>Lts</b>          |
| Arena   | 8.62   | <b>8.62</b>   |                  | <b>Kg</b>           |
| Ripio   | 7.57   | <b>7.57</b>   |                  | <b>Kg</b>           |
| Aditivo Superplastificante  | -  | <b>0.065</b>  |                  | <b>Lts</b>          |
| <b>ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE</b>   |  |   |                  |                     |
| <b>NOMBRE</b>   | <b>%DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO</b>                                       | <b>DENSIDAD ADITIVO (Kg/Ltr)</b>                                    | <b>PESO (Kg)</b> | <b>VOLUMEN (Lt)</b> |
| Superplastificante  | 1.00%  | 1.20  | 0.065            | <b>0.054</b>        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

## **CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Análisis y discusión de los resultados.**

#### **3.1.1. Ensayos al hormigón en estado fresco.**

##### **3.1.1.1. Densidad del hormigón en estado fresco.**

**Tabla 34.-** Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón convencional con 0% de aditivo superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                    |                                  |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
|--|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                    |                                  |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                    | Hormigón Convencional con 0% Sp. |                                |                        |                            |                          | FECHA DE ELABORACIÓN:  |                   | 06/12/2021        |                           |
| NORMA  |                    | ASTM C 138, ASTM C143            |                                |                        |                            |                          | REALIZÓ                |                   | Dayana Benalcázar |                           |
| DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO   |                    |                                  |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| Número de Probeta  | Denominación Molde | Peso del Molde (Kg)              | Peso del Molde + Hormigón (Kg) | Peso del Hormigón (Kg) | Diámetro del Cilindro (cm) | Altura del Cilindro (cm) | Volumen del Molde (m3) | Asentamiento (cm) | Densidad (kg/m3)  | Densidad Promedio (kg/m3) |
| 1  | HC 0-7             | 7.737                            | 11.172                         | 3.435                  | 10                         | 20                       | 0.002                  | 7.5               | 2186.79           | 2201.43                   |
| 2  | HC 0-7             | 7.724                            | 11.191                         | 3.467                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2207.16           |                           |
| 3  | HC 0-7             | 7.720                            | 11.179                         | 3.459                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2202.07           |                           |
| 4  | HC 0-14            | 7.736                            | 11.189                         | 3.453                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2198.25           |                           |
| 5  | HC 0-14            | 7.729                            | 11.166                         | 3.437                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2188.06           |                           |
| 6  | HC 0-14            | 7.722                            | 11.160                         | 3.438                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2188.70           |                           |
| 7  | HC 0-28            | 7.643                            | 11.115                         | 3.472                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2210.34           |                           |
| 8  | HC 0-28            | 7.710                            | 11.172                         | 3.462                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2203.98           |                           |
| 9  | HC 0-28            | 7.740                            | 11.239                         | 3.499                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2227.53           |                           |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** Mediante la aplicación de la ASTM C138, la densidad promedio del HC-0%sp. en estado fresco obtenida de la tabla 34 fue de 2201.43 kg/m<sup>3</sup> cumpliendo lo especificado para Hormigón de peso normal siendo superior a 2160 kg/m<sup>3</sup> según ACI 318-19. El asentamiento medido según ASTM C143 fue de 7.5cm el cual está dentro del rango tolerable a los  $8 \pm 2.5$  cm propuestos en el diseño, además cumple con ACI 301-S que establece que el asentamiento del concreto estructural sin aditivo debe estar en el rango de 5-10 cm.

**Tabla 35.-** Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón convencional con 0.8% de aditivo superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                    |                                       |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
|--|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                    |                                       |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                    | Hormigón Convencional con 0.8% de sp. |                                |                        |                            |                          | FECHA DE ELABORACIÓN:  |                   | 06/12/2021        |                           |
| NORMA  |                    | ASTM C 138, ASTM C 143.               |                                |                        |                            |                          | REALIZÓ                |                   | Dayana Benalcázar |                           |
| DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO   |                    |                                       |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| Número de Probeta  | Denominación Molde | Peso del Molde (Kg)                   | Peso del Molde + Hormigón (Kg) | Peso del Hormigón (Kg) | Diámetro del Cilindro (cm) | Altura del Cilindro (cm) | Volumen del Molde (m3) | Asentamiento (cm) | Densidad (kg/m3)  | Densidad Promedio (kg/m3) |
| 1  | HC 08-7            | 7.715                                 | 11.220                         | 3.505                  | 10                         | 20                       | 0.002                  | 10.5              | 2231.35           | 2248.61                   |
| 2  | HC 08-7            | 7.720                                 | 11.203                         | 3.483                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2217.35           |                           |
| 3  | HC 08-7            | 4.803                                 | 8.333                          | 3.530                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2247.27           |                           |
| 4  | HC 08-14           | 4.624                                 | 8.181                          | 3.557                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2264.46           |                           |
| 5  | HC 08-14           | 4.721                                 | 8.296                          | 3.575                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2275.92           |                           |
| 6  | HC 08-14           | 5.089                                 | 8.487                          | 3.398                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2163.23           |                           |
| 7  | HC 08-28           | 4.719                                 | 8.317                          | 3.598                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2290.56           |                           |
| 8  | HC 08-28           | 4.592                                 | 8.203                          | 3.611                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2298.83           |                           |
| 9  | HC 08-28           | 4.783                                 | 8.315                          | 3.532                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2248.54           |                           |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** Mediante la aplicación de la ASTM C138, la densidad promedio del HC-0.8%sp. en estado fresco obtenida de la tabla 35 fue de 2248.61 kg/m<sup>3</sup> cumpliendo lo especificado para Hormigón de peso normal siendo superior a 2160 kg/m<sup>3</sup> según ACI 318-19. El asentamiento medido según ASTM C143 fue de 10.5cm el cual está dentro del rango tolerable a los 8±2.5 cm propuestos en el diseño, además cumple con ACI 301-S que establece que el asentamiento del concreto estructural con aditivo tipo F debe ser máximo de 20cm.

**Tabla 36.-** Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón convencional con 1% de aditivo superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                    |                                     |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
|--|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                    |                                     |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                    | Hormigón Convencional con 1% de sp. |                                |                        |                            |                          | FECHA DE ELABORACIÓN:  |                   | 07/12/2021        |                           |
| NORMA  |                    | ASTM C 138, ASTM C 143.             |                                |                        |                            |                          | REALIZÓ                |                   | Dayana Benalcázar |                           |
| DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO   |                    |                                     |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| Número de Probeta  | Denominación Molde | Peso del Molde (Kg)                 | Peso del Molde + Hormigón (Kg) | Peso del Hormigón (Kg) | Diámetro del Cilindro (cm) | Altura del Cilindro (cm) | Volumen del Molde (m3) | Asentamiento (cm) | Densidad (kg/m3)  | Densidad Promedio (kg/m3) |
| 1  | HC 1-7             | 7.674                               | 11.284                         | 3.610                  | 10                         | 20                       | 0.002                  | 12.5              | 2298.20           | 2256.18                   |
| 2  | HC 1-7             | 7.721                               | 11.221                         | 3.500                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2228.17           |                           |
| 3  | HC 1-7             | 7.730                               | 11.258                         | 3.528                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2245.99           |                           |
| 4  | HC 1-14            | 7.721                               | 11.290                         | 3.569                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2272.10           |                           |
| 5  | HC 1-14            | 7.712                               | 11.235                         | 3.523                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2242.81           |                           |
| 6  | HC 1-14            | 7.733                               | 11.227                         | 3.494                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2224.35           |                           |
| 7  | HC 1-28            | 7.714                               | 11.282                         | 3.568                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2271.46           |                           |
| 8  | HC 1-28            | 7.716                               | 11.261                         | 3.545                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2256.82           |                           |
| 9  | HC 1-28            | 7.714                               | 11.273                         | 3.559                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 2265.73           |                           |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** Mediante la aplicación de la ASTM C138, la densidad promedio del HC-1%sp. en estado fresco obtenida de la tabla 36 fue de 2256.18 kg/m<sup>3</sup> cumpliendo lo especificado para Hormigón de peso normal siendo superior a 2160 kg/m<sup>3</sup> según ACI 318-19. El asentamiento medido según ASTM C143 fue de 12.5cm valor mayor al rango de  $8 \pm 2.5\text{cm}$  propuestos en el diseño, además cumple con ACI 301-S que establece que el asentamiento del concreto estructural con aditivo tipo F debe ser máximo de 20cm.

**Tabla 37.-** Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón ligero con 0% de aditivo superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                    |                            |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                    |                            |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                    | Hormigón Ligero con 0% sp. |                                |                        |                            |                          | FECHA DE ELABORACIÓN:  |                   | 06/12/2021        |                           |
| NORMA  |                    | ASTM C 567 - ASTM C 143    |                                |                        |                            |                          | REALIZÓ                |                   | Dayana Benalcázar |                           |
| DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO   |                    |                            |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| Número de Probeta  | Denominación Molde | Peso del Molde (Kg)        | Peso del Molde + Hormigón (Kg) | Peso del Hormigón (Kg) | Diámetro del Cilindro (cm) | Altura del Cilindro (cm) | Volumen del Molde (m3) | Asentamiento (cm) | Densidad (kg/m3)  | Densidad Promedio (kg/m3) |
| 1  | HL 0-7             | 7.741                      | 10.088                         | 2.347                  | 10                         | 20                       | 0.002                  | 7                 | 1494.15           | 1533.69                   |
| 2  | HL 0-7             | 7.749                      | 10.127                         | 2.378                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1513.88           |                           |
| 3  | HL 0-7             | 7.708                      | 10.091                         | 2.383                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1517.06           |                           |
| 4  | HL 0-14            | 7.715                      | 10.118                         | 2.403                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1529.80           |                           |
| 5  | HL 0-14            | 7.752                      | 10.167                         | 2.415                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1537.44           |                           |
| 6  | HL 0-14            | 7.725                      | 10.196                         | 2.471                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1573.09           |                           |
| 7  | HL 0-28            | 7.712                      | 10.153                         | 2.441                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1553.99           |                           |
| 8  | HL 0-28            | 7.710                      | 10.135                         | 2.425                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1543.80           |                           |
| 9  | HL 0-28            | 7.736                      | 10.155                         | 2.419                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1539.98           |                           |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** Mediante la aplicación de la ASTM C567, la densidad promedio del HL-0%sp. en estado fresco obtenida de la tabla 37 fue de 1533.69 kg/m3 cumpliendo lo especificado para Hormigón de peso liviano entre 1440 a 2160 kg/m3 según ACI 318-19. El asentamiento medido según ASTM C143 fue de 7cm el cual está dentro del rango tolerable a los  $8 \pm 2.5$ cm propuestos en el diseño, además cumple con ACI 301-S que establece que el asentamiento del concreto estructural sin aditivo debe estar en el rango de 5-10 cm.



**Tabla 38.-** Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón ligero con 0.8% de aditivo superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                    |                                 |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                  |                           |
|--|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                    |                                 |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                  |                           |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                    | Hormigón Ligero con 0.8% de sp. |                                |                        |                            |                          | FECHA DE ELABORACIÓN:  |                   | 07/12/2021       |                           |
| NORMA  |                    | ASTM C 567- ASTM C 143          |                                |                        |                            |                          | REALIZÓ                | Dayana Benalcázar |                  |                           |
| DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO   |                    |                                 |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                  |                           |
| Número de Probeta  | Denominación Molde | Peso del Molde (Kg)             | Peso del Molde + Hormigón (Kg) | Peso del Hormigón (Kg) | Diámetro del Cilindro (cm) | Altura del Cilindro (cm) | Volumen del Molde (m3) | Asentamiento (cm) | Densidad (kg/m3) | Densidad Promedio (kg/m3) |
| 1  | HL 08-7            | 7.717                           | 10.144                         | 2.427                  | 10                         | 20                       | 0.002                  | 8.5               | 1545.08          | 1542.88                   |
| 2  | HL 08-7            | 7.726                           | 10.196                         | 2.470                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1572.45          |                           |
| 3  | HL 08-7            | 7.721                           | 10.143                         | 2.422                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1541.89          |                           |
| 4  | HL 08-14           | 7.755                           | 10.173                         | 2.418                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1539.35          |                           |
| 5  | HL 08-14           | 7.740                           | 10.189                         | 2.449                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1559.08          |                           |
| 6  | HL 08-14           | 7.719                           | 10.167                         | 2.448                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1558.45          |                           |
| 7  | HL 08-28           | 7.741                           | 10.127                         | 2.386                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1518.97          |                           |
| 8  | HL 08-28           | 7.686                           | 10.059                         | 2.373                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1510.70          |                           |
| 9  | HL 08-28           | 7.723                           | 10.142                         | 2.419                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1539.98          |                           |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** Mediante la aplicación de la ASTM C567, la densidad promedio del HL-0.8% sp. en estado fresco obtenida de la tabla 38 fue de 1542.88 kg/m<sup>3</sup> cumpliendo lo especificado para Hormigón de peso liviano entre 1440 a 2160 kg/m<sup>3</sup> según ACI 318-19. El asentamiento medido según ASTM C143 fue de 8.5cm el cual está dentro del rango tolerable a los  $8 \pm 2.5$ cm propuestos en el diseño, además cumple con ACI 301-S que establece que el asentamiento del concreto estructural con aditivo tipo F debe ser máximo de 20cm.

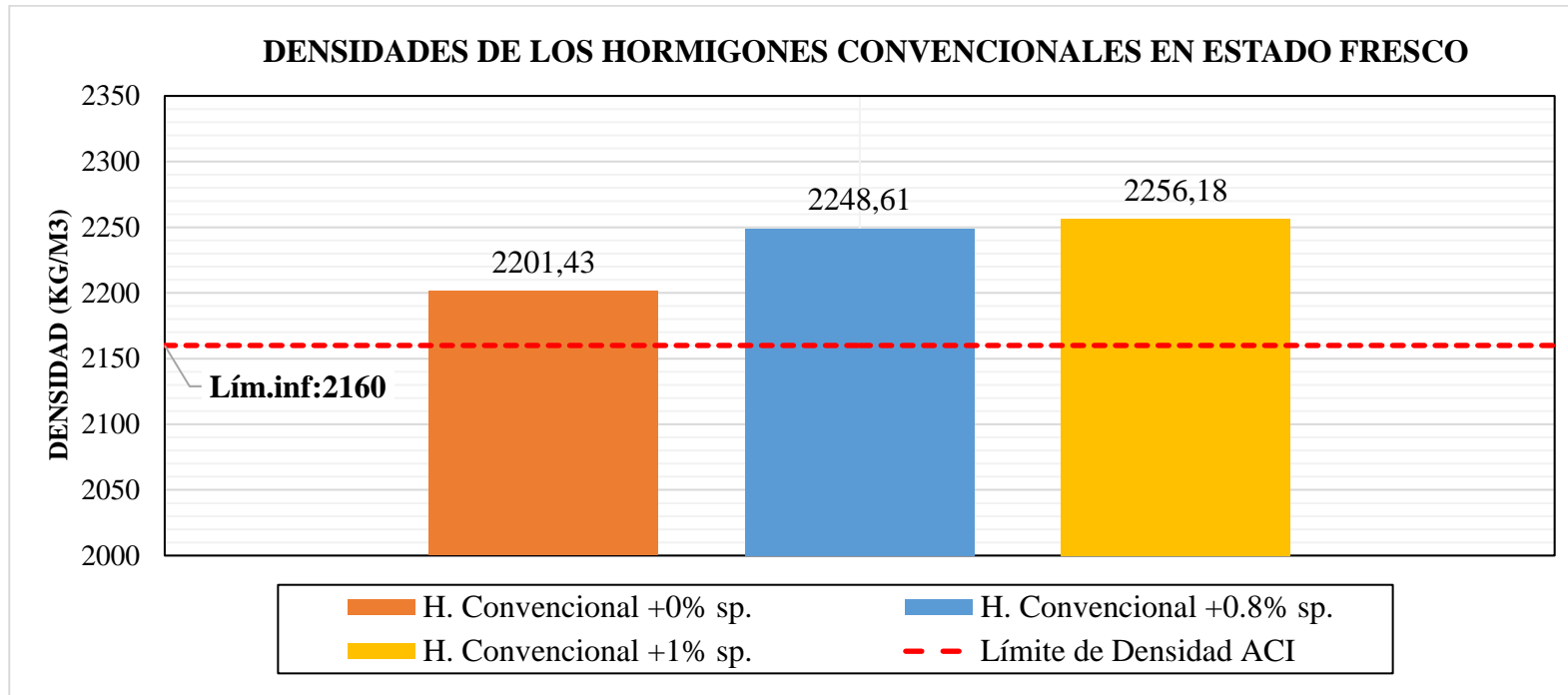
**Tabla 39.-** Propiedades del hormigón fresco: densidad del hormigón ligero con 1 % de aditivo superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                    |                               |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                    |                               |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                    | Hormigón Ligero con 1% de sp. |                                |                        |                            |                          | FECHA DE ELABORACIÓN:  |                   | 07/12/2021        |                           |
| NORMA  |                    | ASTM C 567                    |                                |                        |                            |                          | REALIZÓ                |                   | Dayana Benalcázar |                           |
| DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO   |                    |                               |                                |                        |                            |                          |                        |                   |                   |                           |
| Número de Probeta  | Denominación Molde | Peso del Molde (Kg)           | Peso del Molde + Hormigón (Kg) | Peso del Hormigón (Kg) | Diámetro del Cilindro (cm) | Altura del Cilindro (cm) | Volumen del Molde (m3) | Asentamiento (cm) | Densidad (kg/m3)  | Densidad Promedio (kg/m3) |
| 1  | HL 1-7             | 7.714                         | 10.160                         | 2.446                  | 10                         | 20                       | 0.002                  | 10.5              | 1557.17           | 1570.12                   |
| 2  | HL 1-7             | 7.748                         | 10.134                         | 2.386                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1518.97           |                           |
| 3  | HL 1-7             | 4.631                         | 7.272                          | 2.641                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1681.31           |                           |
| 4  | HL 1-14            | 4.720                         | 7.132                          | 2.412                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1535.53           |                           |
| 5  | HL 1-14            | 4.601                         | 7.124                          | 2.523                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1606.19           |                           |
| 6  | HL 1-14            | 4.713                         | 7.157                          | 2.444                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1555.90           |                           |
| 7  | HL 1-28            | 4.730                         | 7.264                          | 2.534                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1613.19           |                           |
| 8  | HL 1-28            | 5.197                         | 7.519                          | 2.322                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1478.23           |                           |
| 9  | HL 1-28            | 4.719                         | 7.208                          | 2.489                  | 10                         | 20                       | 0.002                  |                   | 1584.55           |                           |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** Mediante la aplicación de la ASTM C567, la densidad promedio del HL-1%sp. en estado fresco obtenida de la tabla 39 fue de 1570.12 kg/m<sup>3</sup> cumpliendo lo especificado para Hormigón de peso liviano entre 1440 a 2160 kg/m<sup>3</sup> según ACI 318-19. El asentamiento medido según ASTM C143 fue de 10.5 cm el cual está dentro del rango tolerable a los  $8 \pm 2.5$ cm propuestos en el diseño, además cumple con ACI 301-S que establece que el asentamiento del concreto estructural con aditivo tipo F debe ser máximo de 20cm.

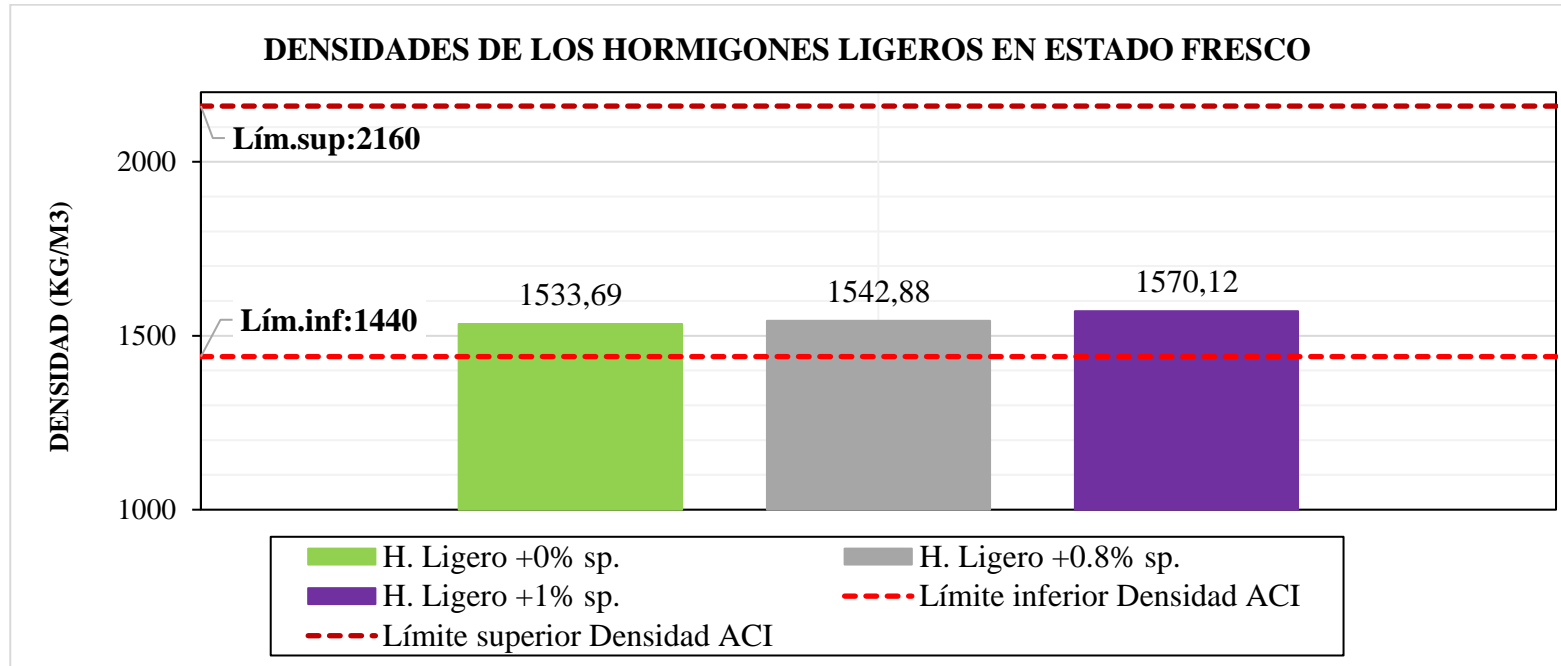
**Gráfico 1.-** Densidades de los hormigones convencionales en estado fresco.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 1, los resultados de densidad del hormigón convencional en estado fresco obtenidos con 0%, (2201.43 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (2248.61 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (2256.18 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 siendo mayores a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso normal. La mayor densidad obtenida corresponde al HC-1% sp. (2256.18 Kg/m<sup>3</sup>) que es 4.45% superior al valor propuesto (2160 Kg/m<sup>3</sup>) por ACI 318-19 y 2.49% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

**Gráfico 2.-** Densidades de los hormigones ligeros en estado fresco.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 2, los resultados de densidad del hormigón ligero en estado fresco obtenidos con 0%, (1533.69 Kg/m3), 0.8% (1542.88 Kg/m3) y 1% (1570.12 Kg/m3) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 dentro del rango de 1440 a 2160 Kg/m3 valor especificado para hormigón de peso liviano. La mayor densidad obtenida corresponde al HL-1% sp. (1570.12 Kg/m3) que es 9.04% superior al límite inferior (1440 Kg/m3) propuesto por ACI 318-19 y 2.38% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

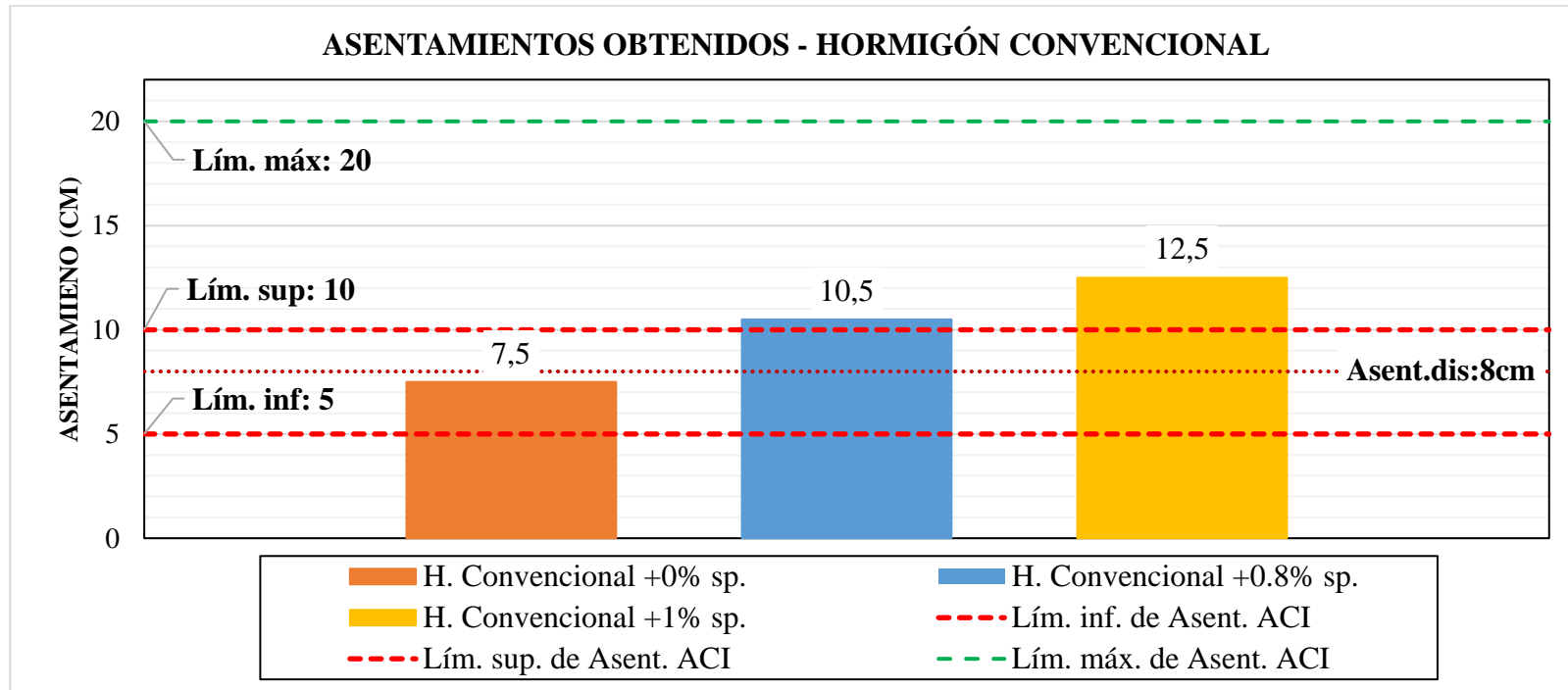
### 3.1.1.2. Asentamiento y consistencia del hormigón fresco.

**Tabla 40.-** Asentamiento y consistencia obtenidos de los Hormigones propuestos.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                                    |                      |                          |
|--|------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                                    |                      |                          |
| NORMA  | NTE INEN 1578                      | REALIZÓ              | Dayana Benalcázar        |
| ASENTAMIENTOS DE LOS HORMIGONES OBTENIDOS  |                                    |                      |                          |
| TIPO DE HORMIGÓN   |                                    | ASENTAMIENTO<br>(cm) | CONSISTENCIA<br>(EHE-08) |
| <b>Hormigón Convencional</b>   | HC con 0 % de superplastificante   | 7.5                  | Blanda                   |
|  | HC con 0.8 % de superplastificante | 10.5                 | Fluida                   |
|  | HC con 1 % de superplastificante   | 12.5                 | Fluida                   |
| <b>Hormigón Ligero</b>   | HL con 0% de superplastificante    | 7.0                  | Blanda                   |
|  | HL con 0.8 % de superplastificante | 8.5                  | Blanda                   |
|  | HL con 1 % de superplastificante   | 10.5                 | Fluida                   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

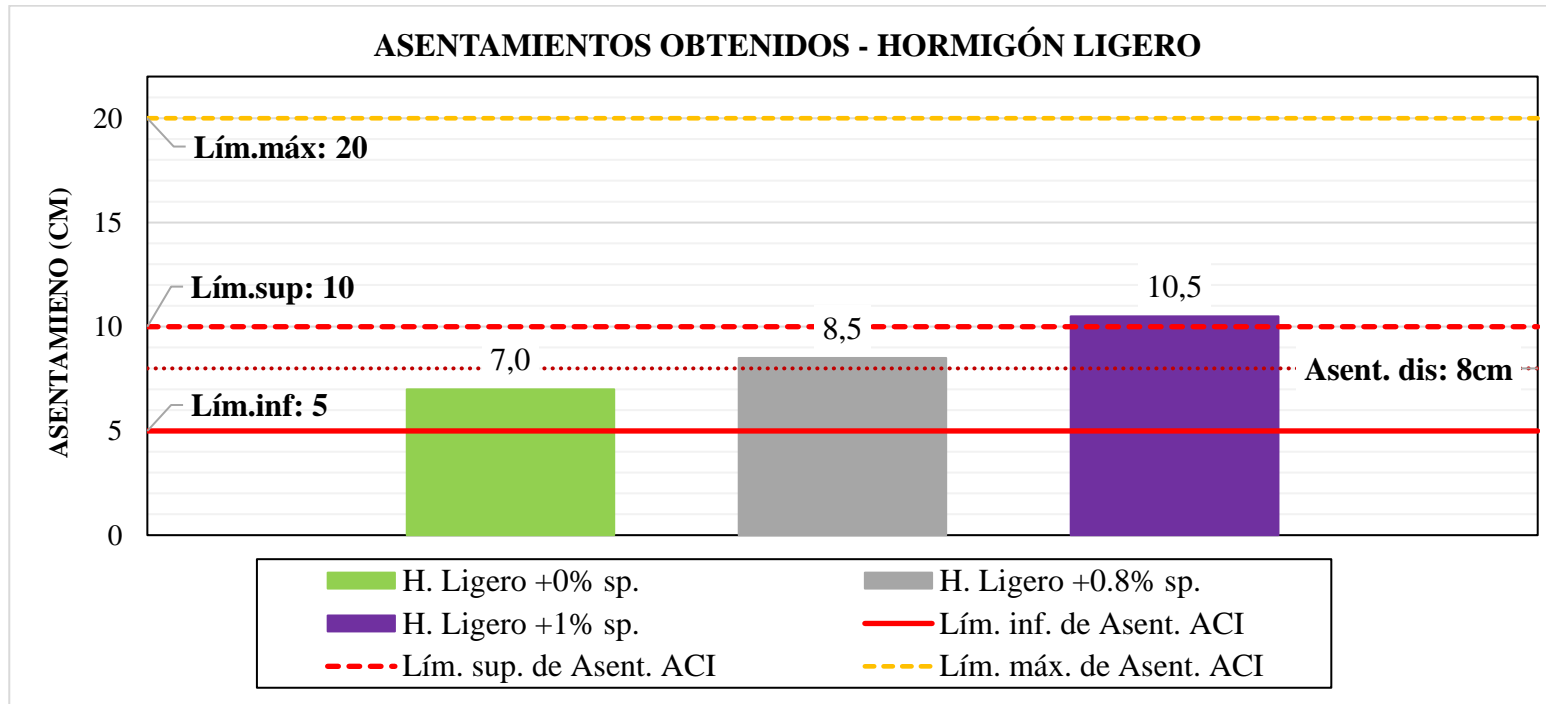
**Gráfico 3.-** Asentamientos obtenidos en hormigones convencionales propuestos.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo a la tabla 40 y gráfico 3, los resultados obtenidos respecto al asentamiento del hormigón convencional con 0% sp. (7.5 cm) valor tolerable a los  $8 \pm 2.5$ cm de diseño y dentro del rango de (5 a 10cm) para h. estructural sin aditivo. Mientras que el 0.8% (10.5 cm) y 1% (12.5 cm) de aditivo superplastificante son menores que el límite máximo (20cm) para h. estructural con aditivo tipo F. El HC-1%sp. consiguió el mayor asentamiento siendo 60% menor que el límite máx. de 20cm y 66.67% mayor que el asentamiento del HC-0%sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta la trabajabilidad del hormigón.

**Gráfico 4.-** Asentamientos obtenidos en hormigones ligeros propuestos.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo a la tabla 40 y gráfico 4, los resultados obtenidos respecto al asentamiento del hormigón ligero con 0% sp. (7.0 cm) valor tolerable a los  $8 \pm 2.5$ cm de diseño y dentro del rango de (5 a 10cm) para h. estructural sin aditivo. Mientras que el 0.8% (8.5 cm) y 1% (10.5 cm) de aditivo superplastificante son menores que el límite máximo (20cm) para h. estructural con aditivo tipo F. El HL-1%sp. consiguió el mayor asentamiento siendo 90.48% menor que el límite máx. de 20cm y 50% mayor que el asentamiento del HL-0%sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta la trabajabilidad del hormigón.

### **3.1.2. Ensayos al hormigón en estado endurecido.**

#### **3.1.2.1. Densidad y Resistencia a compresión a los 7 días.**



**Tabla 41.-** Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Convencional con 0% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                  |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                  |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Convencional con 0% sp. |                     |                                   | <b>Fecha de elaboración</b> |           |                               | 06/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 138 - ASTM C 39           |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 13/12/2021                             |  |   |
| <b>ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>   |                   |                       |                                  |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> )  | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                  |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 1HC 0-7   | 3.447             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 120                         | 12236.400 | 2194.428                      | 2186.152                               | 155.80   | 161.858   |
| 2HC 0-7   | 3.425             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 124                         | 12644.280 | 2180.423                      |  | 160.99   |   |
| 3HC 0-7   | 3.430             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 130                         | 13256.100 | 2183.606                      |  | 168.78   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 41, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 0% de superplastificante a los 7 días de 2186.152 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 7 días según ASTM C39 de 161.858 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 67.44% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose dentro de rango del (65 -75%)  $f'c$  a los 7 días de edad.

**Tabla 42.-** Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                    |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                    |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Convencional con 0.8% sp. |                     |                                   | <b>Fecha de elaboración</b> |           |                               | 06/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 138 - ASTM C 39             |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 13/12/2021                             |  |   |
| <b>ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>   |                   |                       |                                    |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> )    | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                    |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 1HC 08-7  | 3.462             | 10                    | 78.540                             | 20                  | 0.0016                            | 136                         | 13867.920 | 2203.978                      | 2222.652                               | 176.57   | 180.467   |
| 2HC 08-7  | 3.482             | 10                    | 78.540                             | 20                  | 0.0016                            | 142                         | 14479.740 | 2216.710                      |  | 184.36   |   |
| 3HC 08-7  | 3.530             | 10                    | 78.540                             | 20                  | 0.0016                            | 139                         | 14173.830 | 2247.268                      |  | 180.47   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 42, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 0.8 % de superplastificante a los 7 días de 2222.652 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 7 días según ASTM C39 de 180.467 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 75.19% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose superior al rango del (65 -75%)  $f'c$  a los 7 días de edad.

**Tabla 43.-** Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Convencional con 1% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                  |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                  |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Convencional con 1% sp. |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           |                               | 07/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 138 - ASTM C 39           |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 14/12/2021                             |  |   |
| <b>ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>   |                   |                       |                                  |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> )  | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                  |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 1HC 1-7   | 3.514             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 153                         | 15601.410 | 2237.082                      | 2233.262                               | 198.64   | 195.181   |
| 2HC 1-7   | 3.499             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 149                         | 15193.530 | 2227.533                      |  | 193.45   |   |
| 3HC 1-7   | 3.511             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 149                         | 15193.530 | 2235.172                      |  | 193.45   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 43, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 1% de superplastificante a los 7 días de 2233.262 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 7 días según ASTM C39 de 195.181 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 81.33% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose superior al rango del (65 -75%)  $f'c$  a los 7 días de edad.

**Tabla 44.-** Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Ligero con 0% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Ligero con 0% sp.      |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           |                               | 06/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 567 - ASTM C 39          |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 13/12/2021                             |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 1HLE 0-7  | 2.347             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 98.8                        | 10074.636 | 1494.147                      | 1510.274                               | 128.27   | 133.208   |
| 2HLE 0-7  | 2.383             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 100                         | 10197.000 | 1517.065                      |  | 129.83   |   |
| 3HLE 0-7  | 2.387             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 109                         | 11114.730 | 1519.611                      |  | 141.52   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 44, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 0% de superplastificante a los 7 días de 1510.274 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 7 días según ASTM C39 de 133.208 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 55.50% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose inferior al rango del (65 -75%)  $f'c$  a los 7 días de edad.

**Tabla 45.-** Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Ligeró con 0.8% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>   |                   |                              |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|--|-------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                              |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>  |                   | Hormigón Ligeró con 0.8% sp. |                                 |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           | 07/12/2021                    |  |  |   |
| <b>Norma</b>   |                   | ASTM C 567 - ASTM C 39       |                                 |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           | 14/12/2021                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS   |                   |                              |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta   | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)        | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  |                   |                              |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 1HLE 08-7  | 2.415             | 10                           | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 106                         | 10808.820 | 1537.437                      | 1536.800                               | 137.62   | 139.786   |
| 2HLE 08-7  | 2.423             | 10                           | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 111                         | 11318.670 | 1542.530                      |  | 144.11   |   |
| 3HLE 08-7  | 2.404             | 10                           | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 106                         | 10808.820 | 1530.434                      |  | 137.62   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 45, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 0.8% de superplastificante a los 7 días de 1536.800 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 7 días según ASTM C39 de 139.786 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 58.24% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose inferior al rango del (65 -75%)  $f'_c$  a los 7 días de edad.

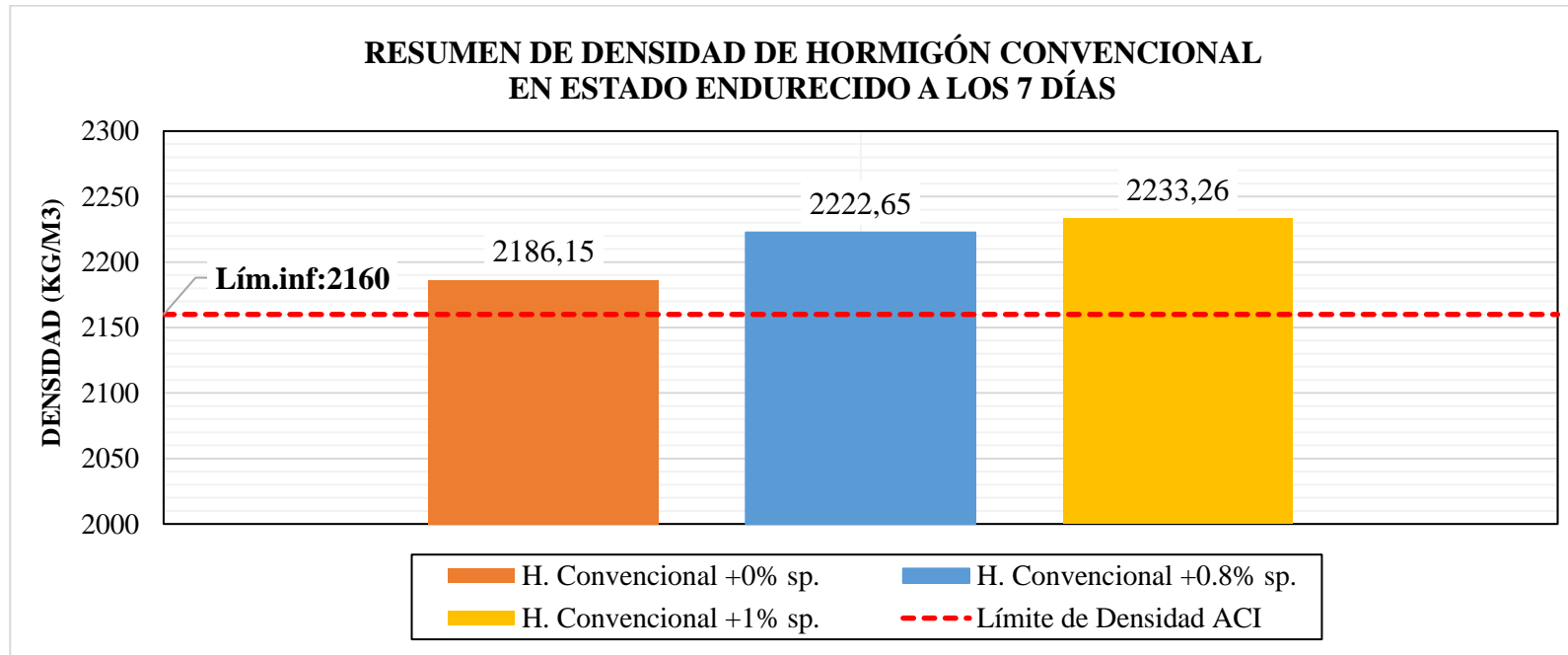
**Tabla 46.-** Densidad y resistencia a compresión a los 7 días del Hormigón Ligero con 1% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Ligero con 1% de sp.   |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           |                               | 07/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 567 - ASTM C 39          |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 14/12/2021                             |  |   |
| <b>ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS</b>   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 1HLE 1-7  | 2.467             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 108                         | 11012.760 | 1570.541                      | 1563.114                               | 140.22   | 148.442   |
| 2HLE 1-7  | 2.428             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 115                         | 11726.550 | 1545.713                      |  | 149.31   |   |
| 3HLE 1-7  | 2.471             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 120                         | 12236.400 | 1573.087                      |  | 155.80   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 46, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 1% de superplastificante a los 7 días de 1563.114 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 7 días según ASTM C39 de 148.442 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 61.85% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose inferior al rango del (65 -75%)  $f'c$  a los 7 días de edad.

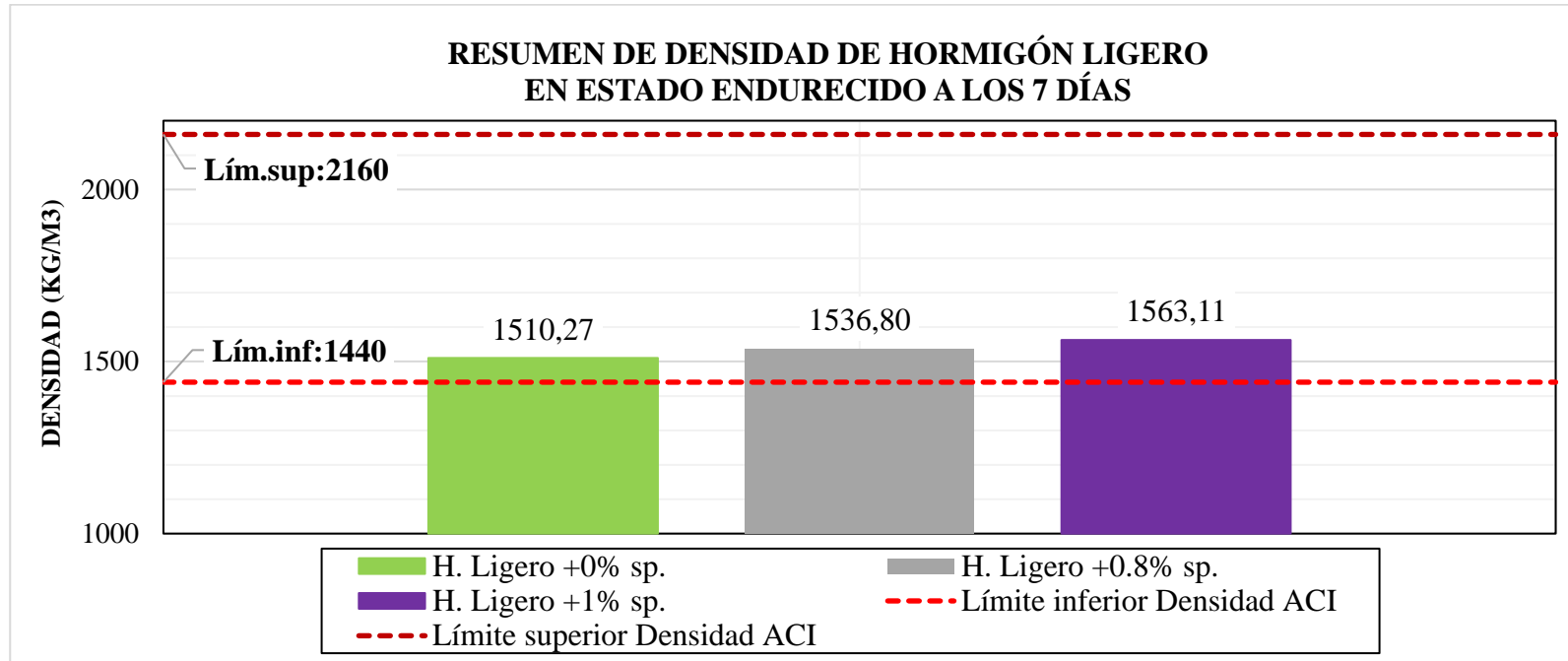
**Gráfico 5.-** Resumen de densidades del hormigón convencional en estado endurecido a los 7 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 5, los resultados de densidad del hormigón convencional en estado endurecido a los 7 días obtenidos con 0%, (2186.15 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (2222.65 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (2233.26 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 siendo mayores a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso normal. La mayor densidad obtenida corresponde al HC-1% sp. (2233.26 Kg/m<sup>3</sup>) que es 3.39% superior al valor propuesto (2160 Kg/m<sup>3</sup>) por ACI 318-19 y 2.15% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

**Gráfico 6.-** Resumen de densidades del hormigón ligero en estado endurecido a los 7 días.

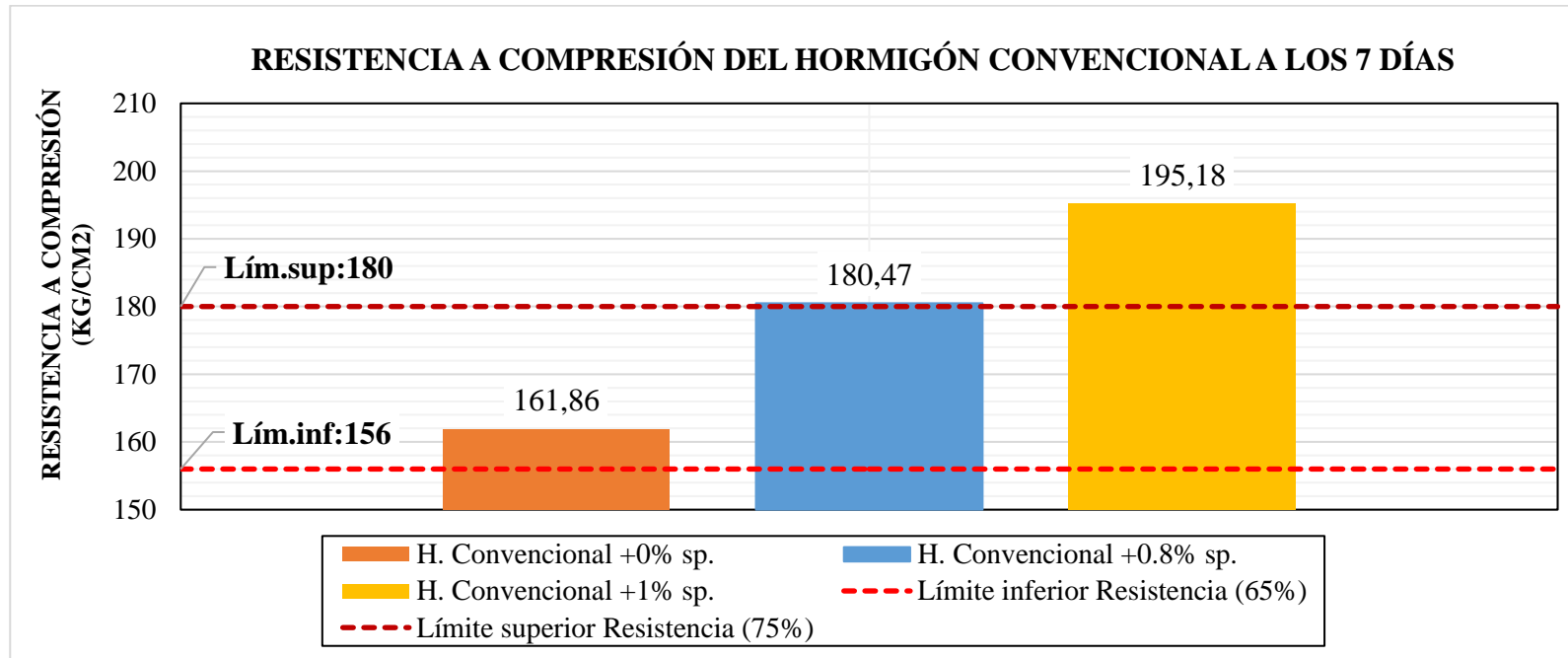


Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 6, los resultados de densidad del hormigón ligero en estado endurecido a los 7 días obtenidos con 0%, (1510.27 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (1536.80 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (1563.11 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 dentro del rango de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso liviano. La mayor densidad obtenida corresponde al HL-1% sp. (1563.11 Kg/m<sup>3</sup>) que es 8.55% superior al límite inferior (1440 Kg/m<sup>3</sup>) propuesto por ACI 318-19 y 3.50% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.



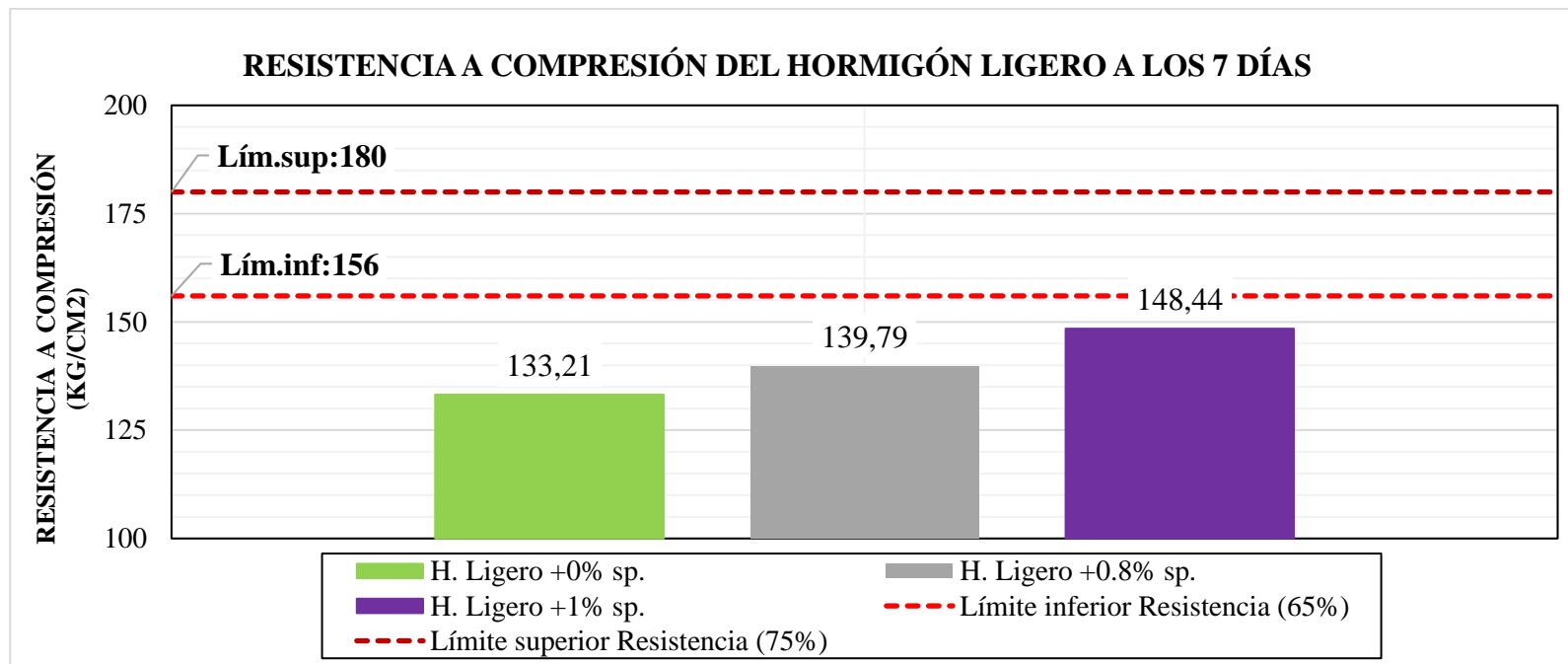
**Gráfico 7.-** Resumen de resistencia a compresión del hormigón convencional a los 7 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 7, los resultados de resistencia a compresión del hormigón convencional en estado endurecido a los 7 días obtenidos con 0%, (161.86 Kg/cm<sup>2</sup>), 0.8% (180.47 Kg/cm<sup>2</sup>) y 1% (195.18 Kg/cm<sup>2</sup>) de aditivo superplastificante se encuentran dentro del rango esperado del 65 al 75% de 240 Kg/cm<sup>2</sup> (156-180 Kg/cm<sup>2</sup>). La mayor resistencia obtenida corresponde al HC-1% sp. (195,18 Kg/cm<sup>2</sup>) que es 8.43% mayor que el límite superior esperado de 180 Kg/cm<sup>2</sup> y 20.59% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la resistencia en el hormigón en los porcentajes propuestos.

**Gráfico 8.-** Resumen de resistencia a compresión del hormigón ligero a los 7 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 8, los resultados de resistencia a compresión del hormigón ligero en estado endurecido a los 7 días obtenidos con 0%, (133.21 Kg/cm<sup>2</sup>), 0.8% (139.79 Kg/cm<sup>2</sup>) y 1% (148.44 Kg/cm<sup>2</sup>) de aditivo superplastificante se encuentran fuera del rango esperado del 65 al 75% de 240 Kg/cm<sup>2</sup> (156-180 Kg/cm<sup>2</sup>). La mayor resistencia obtenida corresponde al HL-1% sp. (148.44 Kg/cm<sup>2</sup>) que es 5.09% menor que el límite inferior esperado de 156 Kg/cm<sup>2</sup> y 11.44% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la resistencia en el hormigón en los porcentajes propuestos.

### 3.1.2.2. Densidad y Resistencia a compresión a los 14 días.

**Tabla 47.-** Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Convencional con 0% de superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
|--|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Tipo de Hormigón   |                   | Hormigón Convencional con 0% sp. |                                 |                     |                                   | Fecha de Elaboración |           | 06/12/2021                    |  |  |   |
| Norma  |                   | ASTM C 138 - ASTM C 39           |                                 |                     |                                   | Fecha de rotura      |           | 20/12/2021                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS  |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta   | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)            | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  |                   |                                  |                                 |                     |                                   | KN                   | Kg        |                               |  |  |   |
| 4HC 0-14   | 3.449             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 179                  | 18252.630 | 2195.70                       | 2186.365                               | 232.40   | 234.564   |
| 5HC 0-14   | 3.425             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 180                  | 18354.600 | 2180.428                      |  | 233.70   |   |
| 6HC 0-14   | 3.429             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 183                  | 18660.510 | 2182.969                      |  | 237.59   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 47, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 0% de superplastificante a los 14 días de 2186.365 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 14 días según ASTM C39 de 234.564 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 97.73% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose superior al rango del (80 -90%)  $f'c$  a los 14 días de edad.

**Tabla 48.-** Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
|--|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| INGENIERÍA CIVIL   |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Tipo de Hormigón   |                   | Hormigón Convencional con 0.8% sp. |                                 |                     |                                   | Fecha de Elaboración |           | 06/12/2021                    |  |  |   |
| Norma  |                   | ASTM C 138 - ASTM C 39             |                                 |                     |                                   | Fecha de rotura      |           | 20/12/2021                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS  |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta   | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)              | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  |                   |                                    |                                 |                     |                                   | KN                   | Kg        |                               |  |  |   |
| 4HC 08-14  | 3.463             | 10                                 | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 191                  | 19476.270 | 2204.614                      | 2212.254                               | 247.98   | 247.114   |
| 5HC 08-14  | 3.480             | 10                                 | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 189                  | 19272.330 | 2215.437                      |  | 245.38   |   |
| 6HC 08-14  | 3.482             | 10                                 | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 191                  | 19476.270 | 2216.710                      |  | 247.98   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 48, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 0.8% de superplastificante a los 14 días de 2212.254 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 14 días según ASTM C39 de 247.114 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 102.96% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose superior al rango del (80 -90%)  $f'c$  a los 14 días de edad.

**Tabla 49.-** Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Convencional con 1% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   | Hormigón Convencional con 1% sp. |                                 |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           | 07/12/2021                    |  |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   | ASTM C 138 - ASTM C 39           |                                 |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           | 21/12/2021                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS   |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)            | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                                  |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 4HC 1-14  | 3.469             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 196                         | 19986.120 | 2208.434                      | 2214.164                               | 254.47   | 261.396   |
| 5HC 1-14  | 3.48              | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 207                         | 21107.790 | 2215.437                      |  | 268.75   |   |
| 6HC 1-14  | 3.485             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 201                         | 20495.970 | 2218.620                      |  | 260.96   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 49, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 1% de superplastificante a los 14 días de 2214.164 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 14 días según ASTM C39 de 261.396 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 108.91% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose superior al rango del (80 -90%)  $f'c$  a los 14 días de edad.

**Tabla 50.-** Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Ligeró con 0% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                            |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                            |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   | Hormigón Ligeró con 0% sp. |                                 |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           | 06/12/2021                    |  |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   | ASTM C 567 - ASTM C 39     |                                 |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           | 20/12/2021                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS   |                   |                            |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)      | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                            |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 4HLE 0-14   | 2.401             | 10                         | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 120                         | 12236.400 | 1528.524                      | 1528.312                               | 155.80   | 159.694   |
| 5HLE 0-14   | 2.397             | 10                         | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 122                         | 12440.340 | 1525.978                      |  | 158.40   |   |
| 6HLE 0-14   | 2.404             | 10                         | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 127                         | 12950.190 | 1530.434                      |  | 164.89   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 50, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 0% de superplastificante a los 14 días de 1528.312 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 14 días según ASTM C39 de 159.694 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 66.54% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose inferior al rango del (80 - 90%)  $f'c$  a los 14 días de edad.

**Tabla 51.-** Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Ligeró con 0.8% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Ligeró con 0.8% sp.    |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           |                               | 07/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 567 - ASTM C 39          |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 21/12/2021                             |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 4HLE 08-14  | 2.417             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 117                         | 11930.490 | 1538.710                      | 1531.495                               | 151.90   | 160.126   |
| 5HLE 08-14  | 2.398             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 122                         | 12440.340 | 1526.614                      |  | 158.40   |   |
| 6HLE 08-14  | 2.402             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 131                         | 13358.070 | 1529.161                      |  | 170.08   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 51, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 0.8% de superplastificante a los 14 días de 1531.495 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 14 días según ASTM C39 de 160.126 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 66.72% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose inferior al rango del (80 - 90%)  $f'c$  a los 14 días de edad.

**Tabla 52.-** Densidad y resistencia a compresión a los 14 días del Hormigón Ligero con 1% de superplastificante.

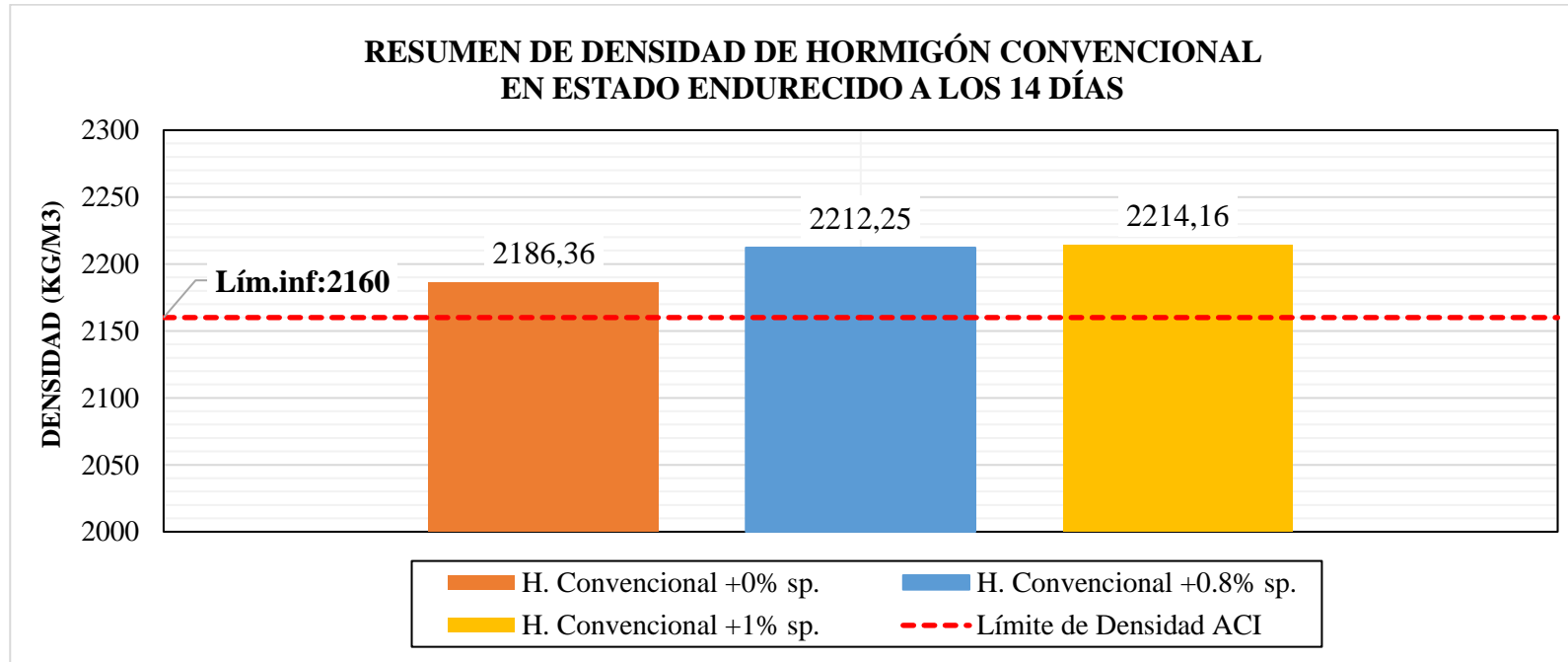
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
|--|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| INGENIERÍA CIVIL   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                   |                       |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Tipo de Hormigón   |                   |                       | Hormigón Ligero con 1% sp.      |                     |                                   | Fecha de Elaboración |           |                               | 07/12/2021                             |  |   |
| Norma  |                   |                       | ASTM C 567 - ASTM C 39          |                     |                                   | Fecha de rotura      |           |                               | 21/12/2021                             |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta   | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  |                   |                       |                                 |                     |                                   | KN                   | Kg        |                               |  |  |   |
| 4HLE 1-14  | 2.435             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 138                  | 14071.860 | 1550.169                      | 1559.082                               | 179.17   | 175.274   |
| 5HLE 1-14  | 2.446             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 130                  | 13256.100 | 1557.172                      |  | 168.78   |   |
| 6HLE 1-14  | 2.466             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 137                  | 13969.890 | 1569.904                      |  | 177.87   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 52, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 1% de superplastificante a los 14 días de 1559.082 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 14 días según ASTM C39 de 175.274 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 73.03% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose inferior al rango del (80 - 90%)  $f'c$  a los 14 días de edad.



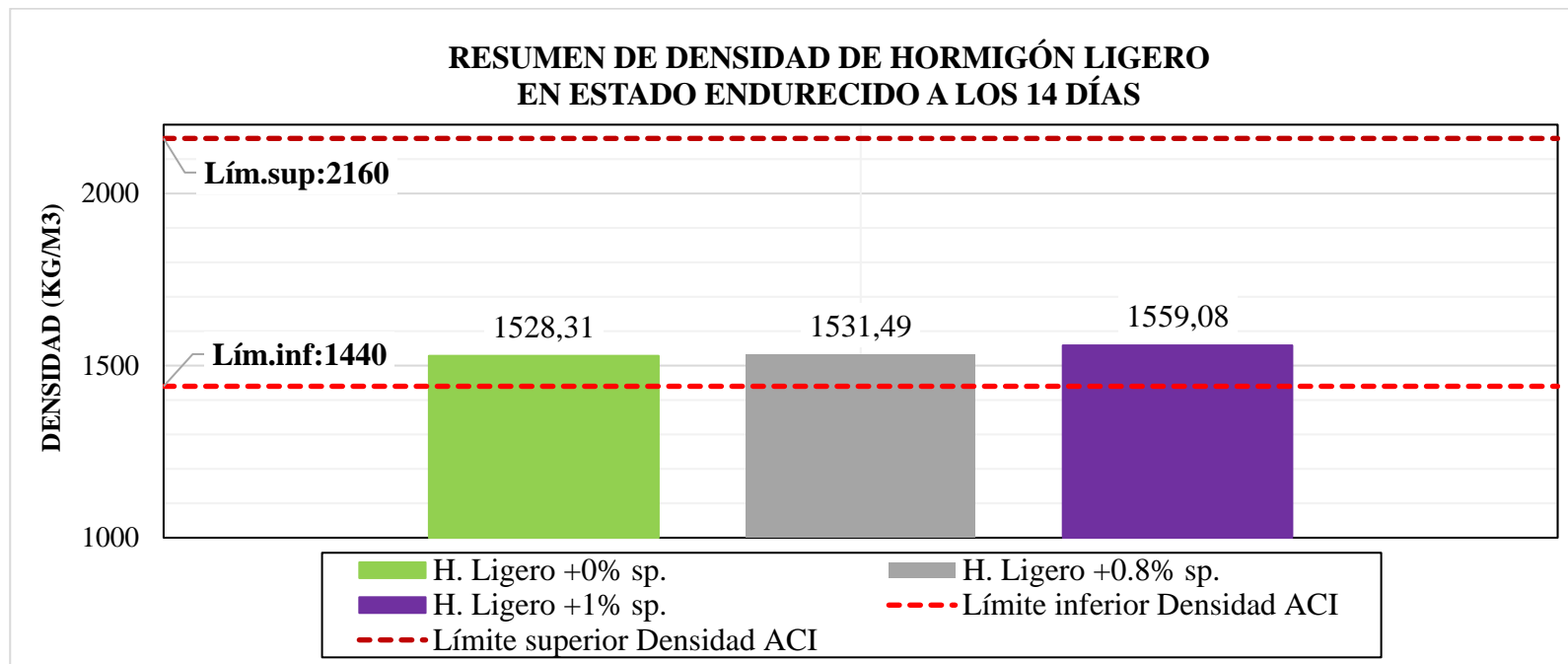
**Gráfico 9.-** Resumen de densidades del hormigón convencional en estado endurecido a los 14 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 9, los resultados de densidad del hormigón convencional en estado endurecido a los 14 días obtenidos con 0%, (2186.36 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (2212.25 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (2214.16 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 siendo mayores a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso normal. La mayor densidad obtenida corresponde al HC-1% sp. (2214.16 Kg/m<sup>3</sup>) que es 2.51% superior al valor propuesto (2160 Kg/m<sup>3</sup>) por ACI 318-19 y 1.27% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

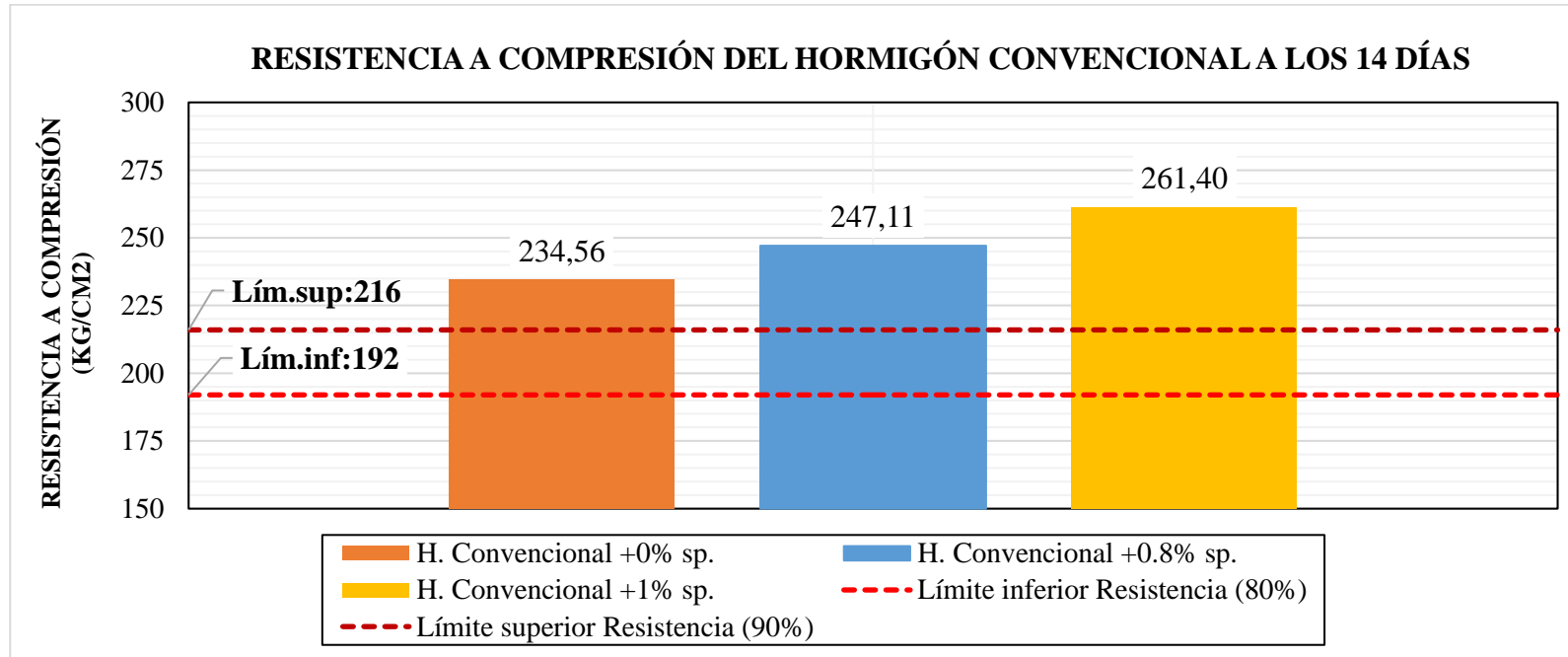
**Gráfico 10.-** Resumen de densidades del hormigón ligero en estado endurecido a los 14 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 10, los resultados de densidad del hormigón ligero en estado endurecido a los 14 días obtenidos con 0%, (1528.31 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (1531.49 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (1559.08 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 dentro del rango de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso liviano. La mayor densidad obtenida corresponde al HL-1% sp. (1559.08 Kg/m<sup>3</sup>) que es 8.27% superior al límite inferior (1440 Kg/m<sup>3</sup>) propuesto por ACI 318-19 y 2.01% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

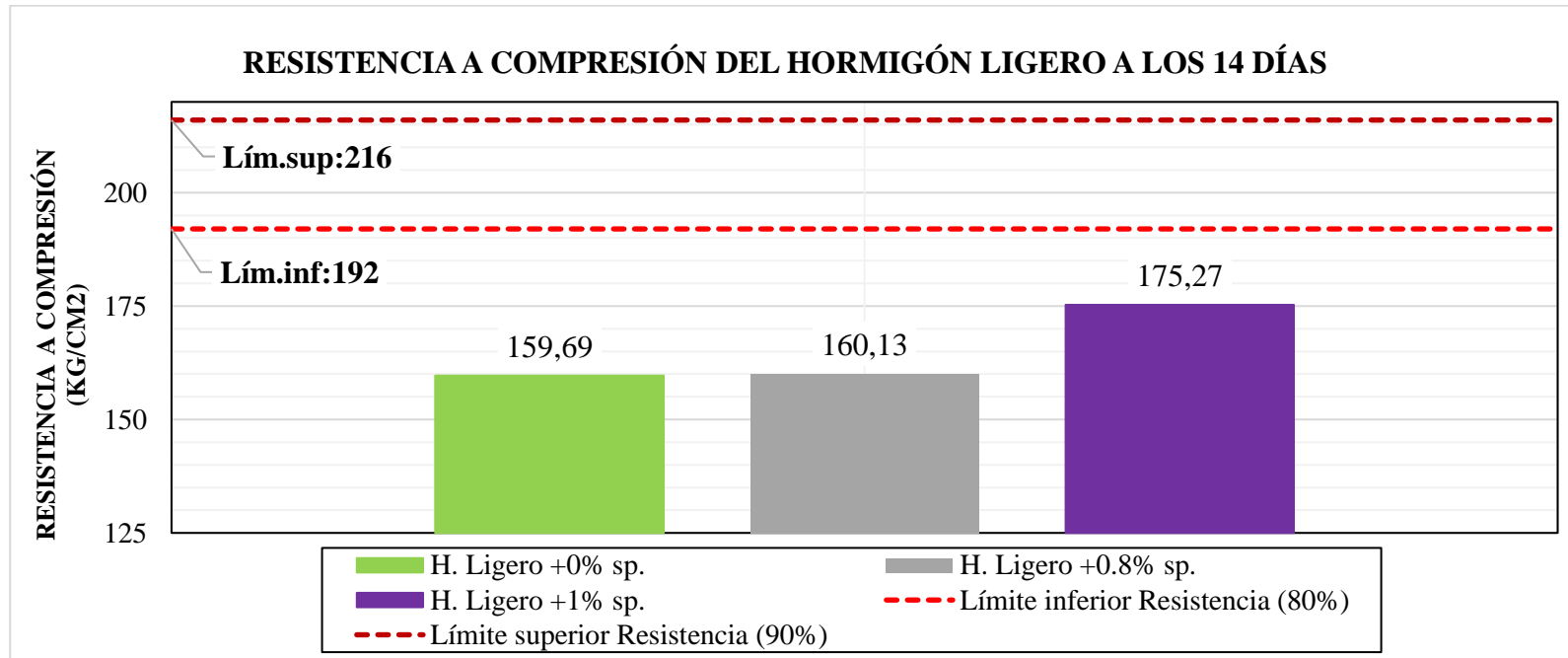
**Gráfico 11.-** Resumen de resistencia a compresión del hormigón convencional a los 14 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 11, los resultados de resistencia a compresión del hormigón convencional en estado endurecido a los 14 días obtenidos con 0%, (234.56 Kg/cm<sup>2</sup>), 0.8% (247.11 Kg/cm<sup>2</sup>) y 1% (261.40 Kg/cm<sup>2</sup>) de aditivo superplastificante se encuentran dentro del rango esperado del 80 al 90% de 240 Kg/cm<sup>2</sup> (192-216 Kg/cm<sup>2</sup>). La mayor resistencia obtenida corresponde al HC-1% sp. (261.40 Kg/cm<sup>2</sup>) que es 21.02% mayor que el límite superior esperado de 216 Kg/cm<sup>2</sup> y 11.44% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la resistencia en el hormigón en los porcentajes propuestos.

**Gráfico 12.-** Resumen de resistencia a compresión del hormigón ligero a los 14 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 12, los resultados de resistencia a compresión del hormigón ligero en estado endurecido a los 14 días obtenidos con 0%, (159.69 Kg/cm<sup>2</sup>), 0.8% (160.13 Kg/cm<sup>2</sup>) y 1% (175.27 Kg/cm<sup>2</sup>) de aditivo superplastificante se encuentran fuera del rango esperado del 80 al 90% de 240 Kg/cm<sup>2</sup> (192-216 Kg/cm<sup>2</sup>). La mayor resistencia obtenida corresponde al HL-1% sp. (175.27 Kg/cm<sup>2</sup>) que es 9.54% menor que el límite inferior esperado de 192 Kg/cm<sup>2</sup> y 9.76% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la resistencia en el hormigón en los porcentajes propuestos.

### 3.1.2.3. Densidad y Resistencia a compresión a los 28 días.

**Tabla 53.-** Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Convencional con 0% de superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                   |                       |                                  |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
|--|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                   |                       |                                  |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Tipo de Hormigón   |                   |                       | Hormigón Convencional con 0% sp. |                     |                                   | Fecha de Elaboración |           |                               | 06/12/2021                             |  |   |
| Norma  |                   |                       | ASTM C 138 - ASTM C 39           |                     |                                   | Fecha de rotura      |           |                               | 03/01/2022                             |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS  |                   |                       |                                  |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta   | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> )  | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  |                   |                       |                                  |                     |                                   | KN                   | Kg        |                               |  |  |   |
| 7HC 0-28   | 3.447             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 219                  | 22331.430 | 2194.428                      | 2193.367                               | 284.33   | 284.333   |
| 8HC 0-28   | 3.446             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 216                  | 22025.520 | 2193.792                      |  | 280.44   |   |
| 9HC 0-28   | 3.443             | 10                    | 78.540                           | 20                  | 0.0016                            | 222                  | 22637.340 | 2191.882                      |  | 288.23   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 53, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 0% de superplastificante a los 28 días de 2193.367 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 28 días según ASTM C39 de 284.333 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 118.47% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 54.-** Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Convencional con 0.8% de superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Tipo de Hormigón  |                   | Hormigón Convencional con 0.8% sp. |                                 |                     |                                   | Fecha de Elaboración |           | 06/12/2021                    |  |  |   |
| Norma   |                   | ASTM C 138 - ASTM C 39             |                                 |                     |                                   | Fecha de rotura      |           | 03/01/2022                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS   |                   |                                    |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)              | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                                    |                                 |                     |                                   | KN                   | Kg        |                               |  |  |   |
| 7HC 08-28   | 3.469             | 10                                 | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 227                  | 23147.190 | 2208.434                      | 2203.129                               | 294.72   | 307.270   |
| 8HC 08-28   | 3.453             | 10                                 | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 244                  | 24880.680 | 2198.2481                     |  | 316.79   |   |
| 9HC 08-28   | 3.460             | 10                                 | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 239                  | 24370.830 | 2202.7044                     |  | 310.30   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 54, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 0.8% de superplastificante a los 28 días de 2203.129 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 28 días según ASTM C39 de 307.270 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 128.03% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 55.-** Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Convencional con 1% de superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
|--|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Tipo de Hormigón   |                   | Hormigón Convencional con 1% sp. |                                 |                     |                                   | Fecha de Elaboración |           | 07/12/2021                    |  |  |   |
| Norma  |                   | ASTM C 138 - ASTM C 39           |                                 |                     |                                   | Fecha                |           | 04/01/2022                    |  |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS  |                   |                                  |                                 |                     |                                   |                      |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta   | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm)            | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  |                   |                                  |                                 |                     |                                   | KN                   | Kg        |                               |  |  |   |
| 7HC 1-28   | 3.472             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 225                  | 22943.250 | 2210.344                      | 2208.222                               | 292.12   | 311.597   |
| 8HC 1-28   | 3.474             | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 220                  | 22433.400 | 2211.617                      |  | 285.63   |   |
| 9HC 1-28   | 3.46              | 10                               | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 275                  | 28041.750 | 2202.704                      |  | 357.04   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 55, mediante la aplicación de la ASTM C138 se obtuvo la densidad promedio del hormigón convencional en estado endurecido con 1% de superplastificante a los 28 días de 2208.222 Kg/m<sup>3</sup> valor mayor al límite inferior ACI 318-19 de 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 28 días según ASTM C39 de 311.597 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 129.83% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 56.-** Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Ligero con 0% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                         |                             |                                       |                           |   |                             |           |                                  |  |  |  |
|---|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|-----------------------------|-----------|----------------------------------|--|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                         |                             |                                       |                           |   |                             |           |                                  |  |  |  |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                         | Hormigón Ligero con 0% sp.  |                                       |                           |   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           | 06/12/2021                       |  |  |  |
| <b>Norma</b>  |                         | ASTM C 567 - ASTM C 39      |                                       |                           |   | <b>Fecha de rotura</b>      |           | 03/01/2022                       |  |  |  |
| <b>ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS</b>  |                         |                             |                                       |                           |   |                             |           |                                  |  |  |  |
| Denominación<br>Probeta   | Peso<br>Probeta<br>(kg) | Diámetro<br>Probeta<br>(cm) | Área<br>Probeta<br>(cm <sup>2</sup> ) | Altura<br>Probeta<br>(cm) | Volumen<br>Probeta<br>(m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad<br>Promedio<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a<br>compresión<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a<br>compresión<br>promedio<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                         |                             |                                       |                           |   | KN                          | Kg        |                                  |  |  |  |
| 7HLE 0-28   | 2.404                   | 10                          | 78.540                                | 20                        | 0.0016                                  | 123                         | 12542.310 | 1530.434                         | 1532.768                                     | 159.69   | 162.723  |
| 8HLE 0-28   | 2.41                    | 10                          | 78.540                                | 20                        | 0.0016                                  | 123                         | 12542.310 | 1534.254                         |  | 159.69   |  |
| 9HLE 0-28   | 2.409                   | 10                          | 78.540                                | 20                        | 0.0016                                  | 130                         | 13256.100 | 1533.617                         |  | 168.78   |  |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 56, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 0% de superplastificante a los 28 días de 1532.768 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 28 días según ASTM C39 de 162.723 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 67.80% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.



**Tabla 57.-** Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Ligeró con 0.8% de superplastificante.

| <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>INGENIERÍA CIVIL</b></p>  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Ligeró con 0.8% sp.    |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           |                               | 07/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 567 - ASTM C 39          |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 04/01/2022                             |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 7HLE 08-28  | 2.377             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 119                         | 12134.430 | 1513.245                      | 1515.792                               | 154.50   | 165.320   |
| 8HLE 08-28  | 2.365             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 133                         | 13562.010 | 1505.606                      |  | 172.68   |   |
| 9HLE 08-28  | 2.401             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 130                         | 13256.100 | 1528.524                      |  | 168.78   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 57, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 0.8% de superplastificante a los 28 días de 1515.792 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 28 días según ASTM C39 de 165.320 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 68.88% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.

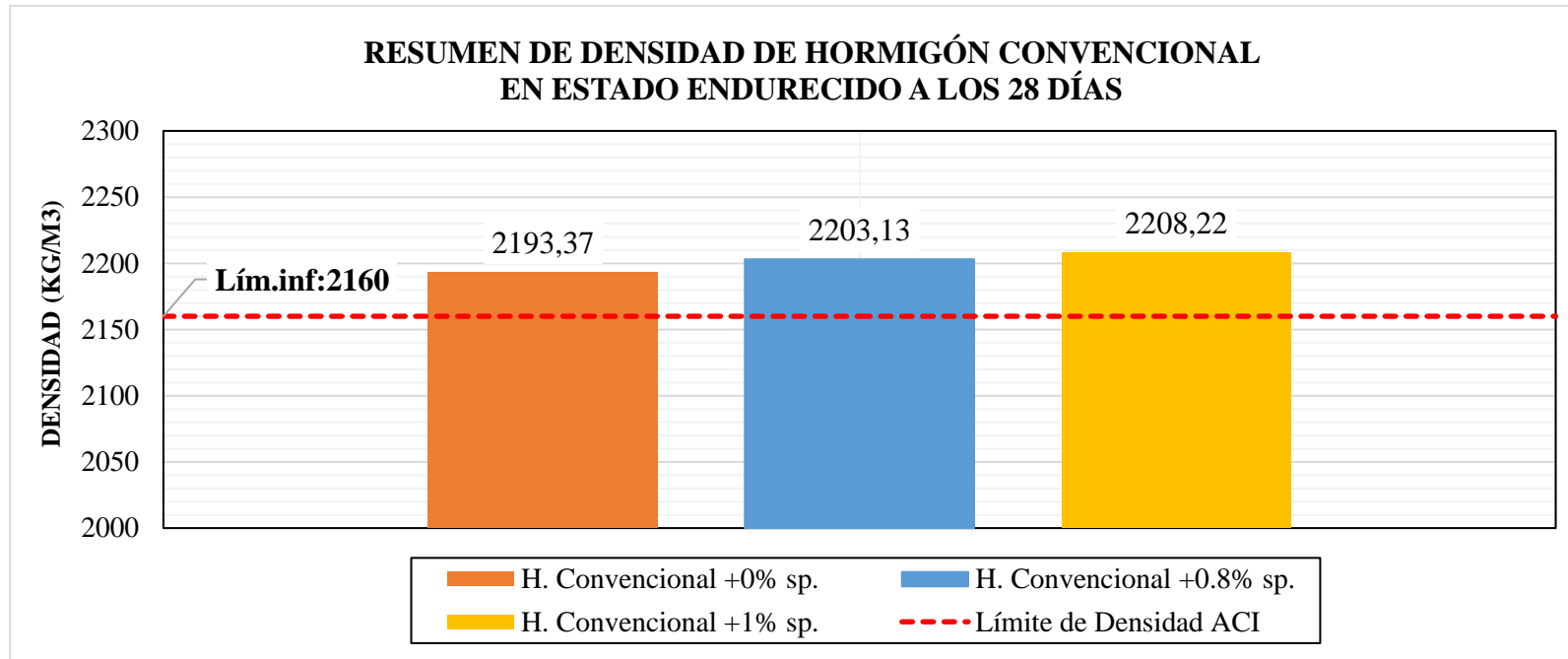
**Tabla 58.-** Densidad y resistencia a compresión a los 28 días del Hormigón Ligero con 1% de superplastificante.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|--|--|---|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| INGENIERÍA CIVIL  |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <p><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| <b>Tipo de Hormigón</b>   |                   |                       | Hormigón Ligero con 1% sp.      |                     |                                   | <b>Fecha de Elaboración</b> |           |                               | 07/12/2021                             |  |   |
| <b>Norma</b>  |                   |                       | ASTM C 567 - ASTM C 39          |                     |                                   | <b>Fecha de rotura</b>      |           |                               | 04/01/2022                             |  |   |
| ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS   |                   |                       |                                 |                     |                                   |                             |           |                               |  |  |   |
| Denominación Probeta  | Peso Probeta (kg) | Diámetro Probeta (cm) | Área Probeta (cm <sup>2</sup> ) | Altura Probeta (cm) | Volumen Probeta (m <sup>3</sup> ) | Carga                       |           | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|   |                   |                       |                                 |                     |                                   | KN                          | Kg        |                               |  |  |   |
| 7HLE 1-28   | 2.473             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 143                         | 14581.710 | 1574.360                      | 1561.416                               | 185.66   | 177.870   |
| 8HLE 1-28   | 2.414             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 133                         | 13562.010 | 1536.800                      |  | 172.68   |   |
| 9HLE 1-28   | 2.471             | 10                    | 78.540                          | 20                  | 0.0016                            | 135                         | 13765.950 | 1573.087                      |  | 175.27   |   |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados:** De acuerdo a la tabla 58, mediante la aplicación de la ASTM C567 se obtuvo la densidad promedio del hormigón ligero en estado endurecido con 1% de superplastificante a los 28 días de 1561.416 Kg/m<sup>3</sup> valor que cumple los límites de ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>. Además de presentar una resistencia a la compresión promedio a los 28 días según ASTM C39 de 177.870 Kg/cm<sup>2</sup> siendo el 74.11% de la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.

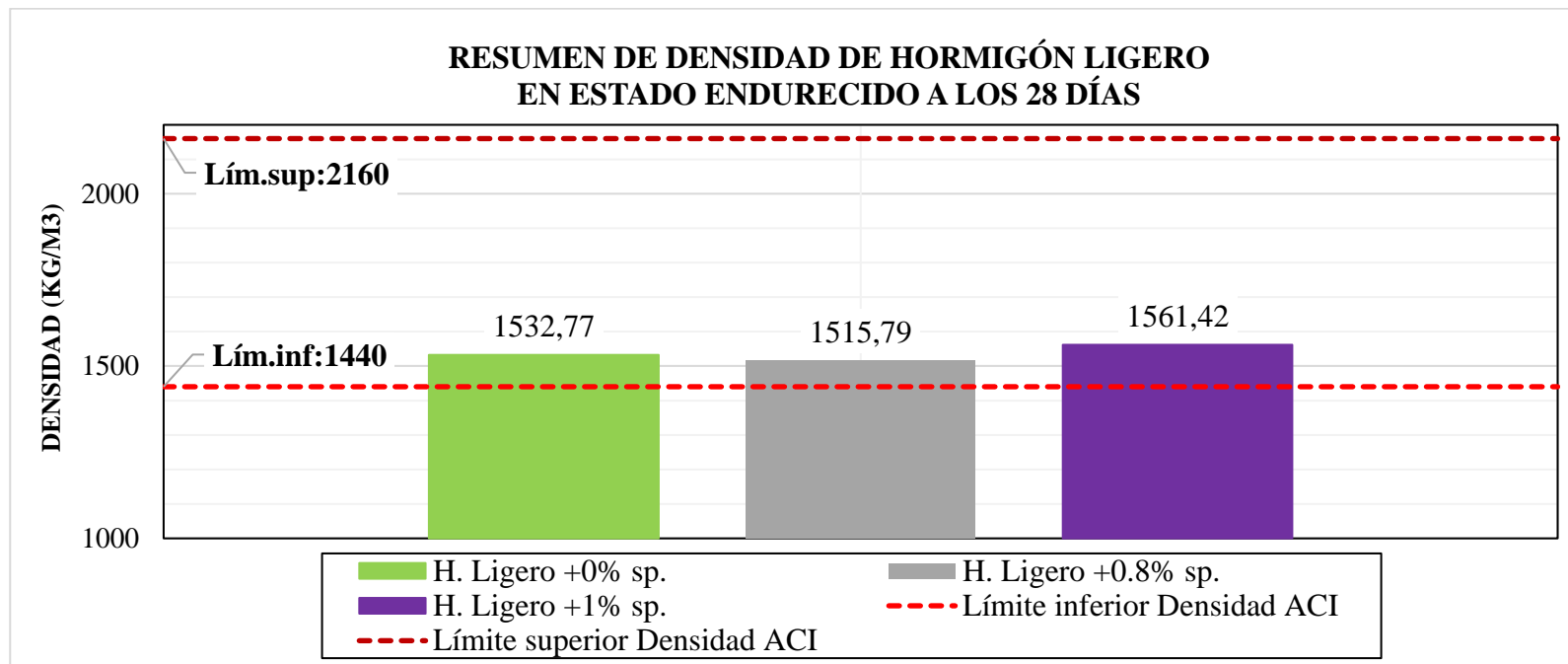
**Gráfico 13.-** Resumen de densidades del hormigón convencional en estado endurecido a los 28 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 13, los resultados de densidad del hormigón convencional en estado endurecido a los 28 días obtenidos con 0%, (2193.37 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (2203.13 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (2208.22 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 siendo mayores a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso normal. La mayor densidad obtenida corresponde al HC-1% sp. (2208.22 Kg/m<sup>3</sup>) que es 2.23% superior al valor propuesto (2160 Kg/m<sup>3</sup>) por ACI 318-19 y 0.68% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

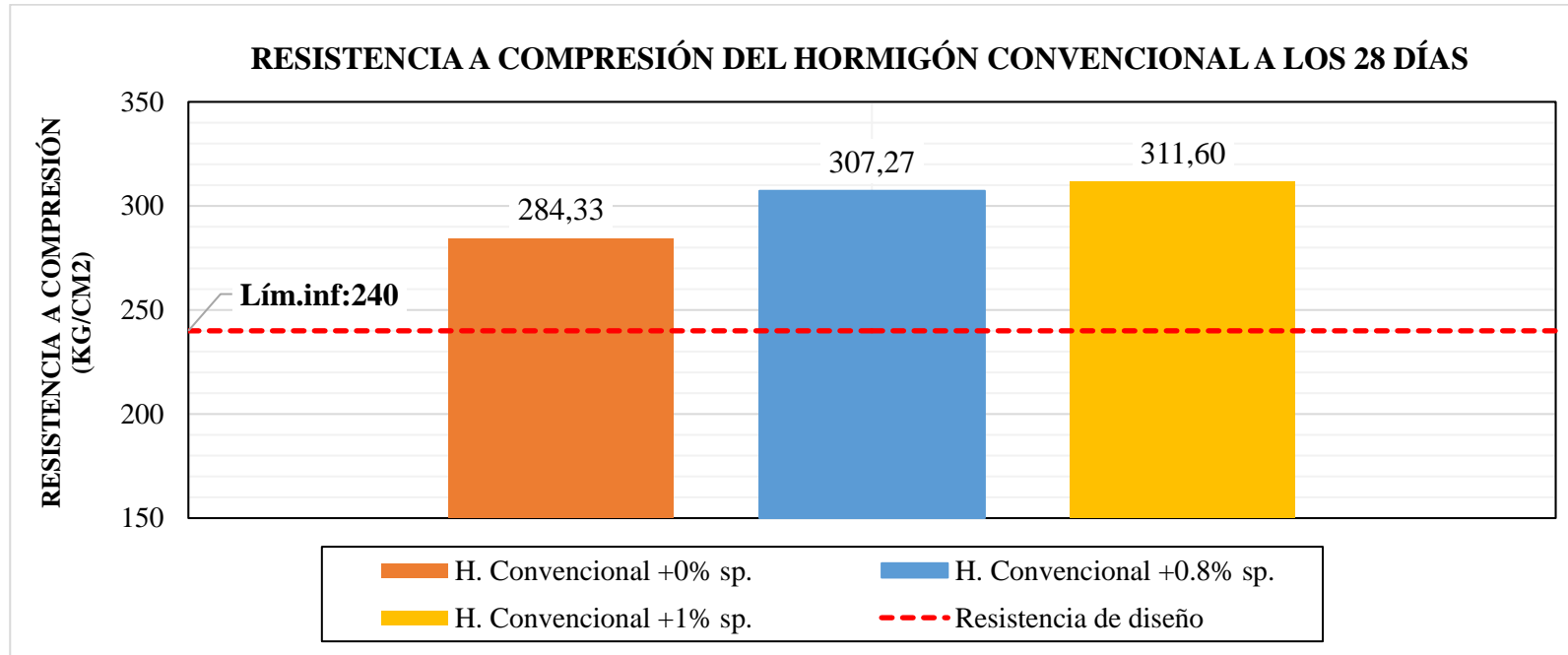
**Gráfico 14.-** Resumen de densidades del hormigón ligero en estado endurecido a los 28 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 14, los resultados de densidad del hormigón ligero en estado endurecido a los 28 días obtenidos con 0%, (1532.77 Kg/m<sup>3</sup>), 0.8% (1515.79 Kg/m<sup>3</sup>) y 1% (1561.42 Kg/m<sup>3</sup>) de aditivo superplastificante cumplen con la ACI 318-19 dentro del rango de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup> valor especificado para hormigón de peso liviano. La mayor densidad obtenida corresponde al HL-1% sp. (1561.42 Kg/m<sup>3</sup>) que es 8.43% superior al límite inferior (1440 Kg/m<sup>3</sup>) propuesto por ACI 318-19 y 1.87% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la densidad en el hormigón.

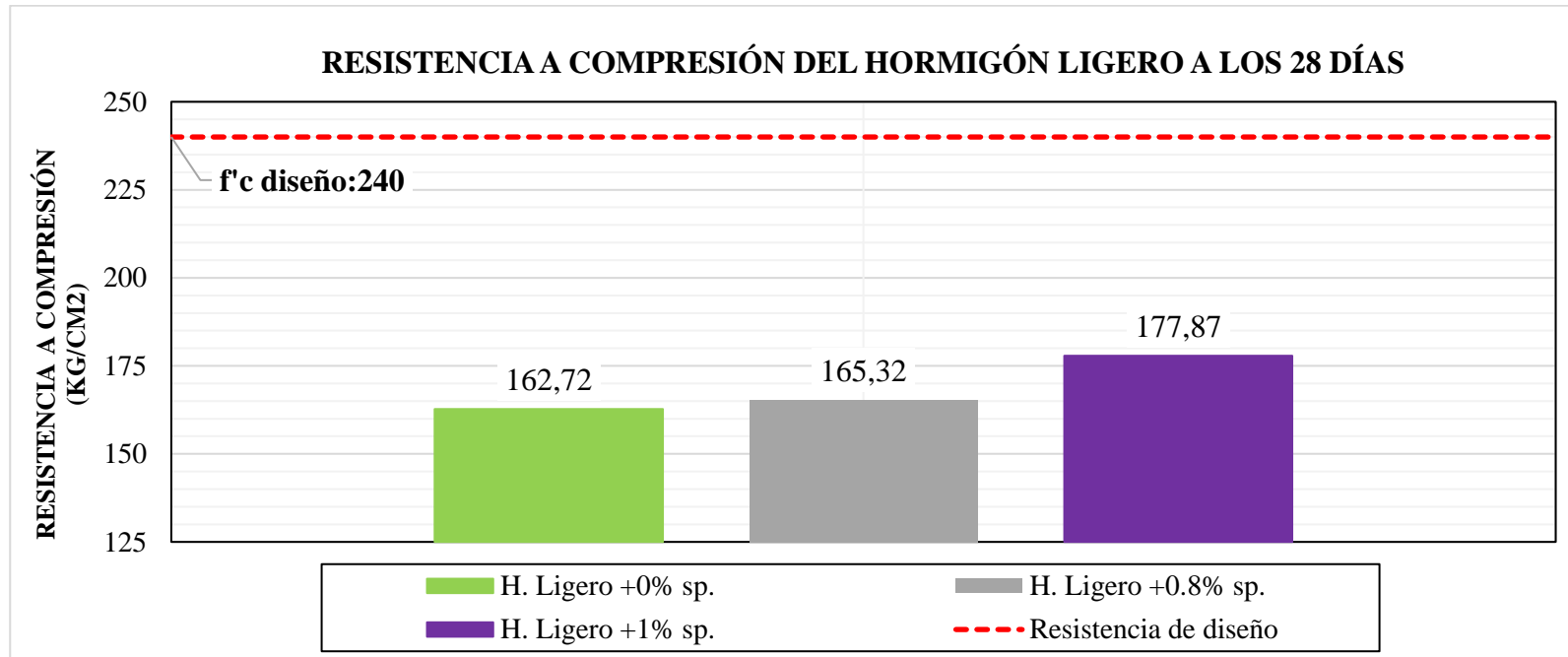
**Gráfico 15.-** Resumen de resistencia a compresión del hormigón convencional a los 28 días.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 15, los resultados de resistencia a compresión del hormigón convencional en estado endurecido a los 28 días obtenidos con 0%, (284.33 Kg/cm<sup>2</sup>), 0.8% (307.27 Kg/cm<sup>2</sup>) y 1% (311.60 Kg/cm<sup>2</sup>) de aditivo superplastificante son superiores a la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>. La mayor resistencia obtenida corresponde al HC-1% sp. (311.60 Kg/cm<sup>2</sup>) que es 29.83% mayor que la resistencia especificada de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 9.59% superior al HC-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la resistencia en el hormigón en los porcentajes propuestos.

**Gráfico 16.-** Resumen de resistencia a compresión del hormigón ligero a los 28 días.



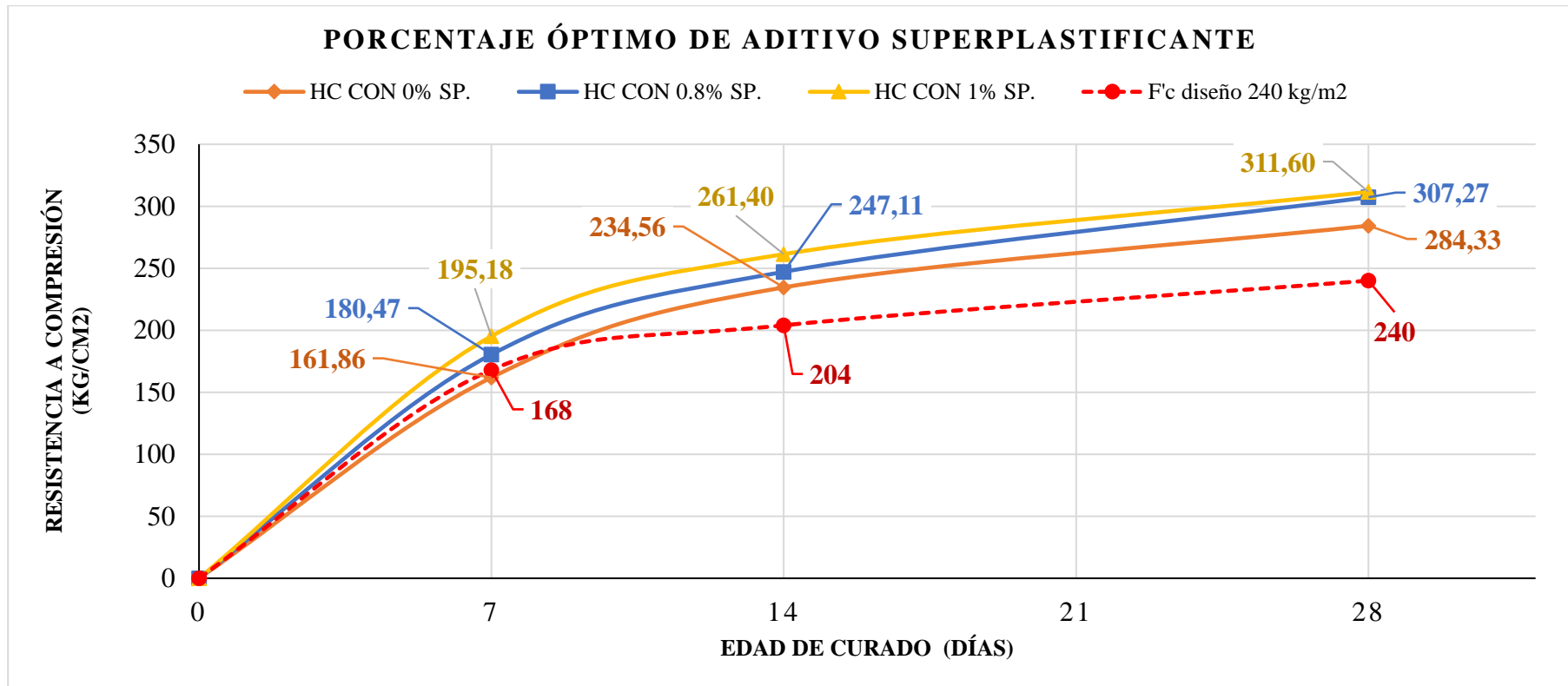
Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 16, los resultados de resistencia a compresión del hormigón ligero en estado endurecido a los 28 días obtenidos con 0%, (162.72 Kg/cm<sup>2</sup>), 0.8% (165.32 Kg/cm<sup>2</sup>) y 1% (177.87 Kg/cm<sup>2</sup>) de aditivo superplastificante son inferiores a la resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>. La mayor resistencia obtenida corresponde al HL-1% sp. (177.87 Kg/cm<sup>2</sup>) que es 34.93% menor que la resistencia especificada de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 9.31% superior al HL-0% sp. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de aditivo superplastificante aumenta el valor de la resistencia en el hormigón en los porcentajes propuestos.

### 3.1.3. Análisis de costos para el porcentaje óptimo de aditivo superplastificante.

#### 3.1.3.1. Porcentaje óptimo de aditivo superplastificante.

Gráfico 17.- Porcentaje óptimo de aditivo superplastificante en el hormigón convencional.

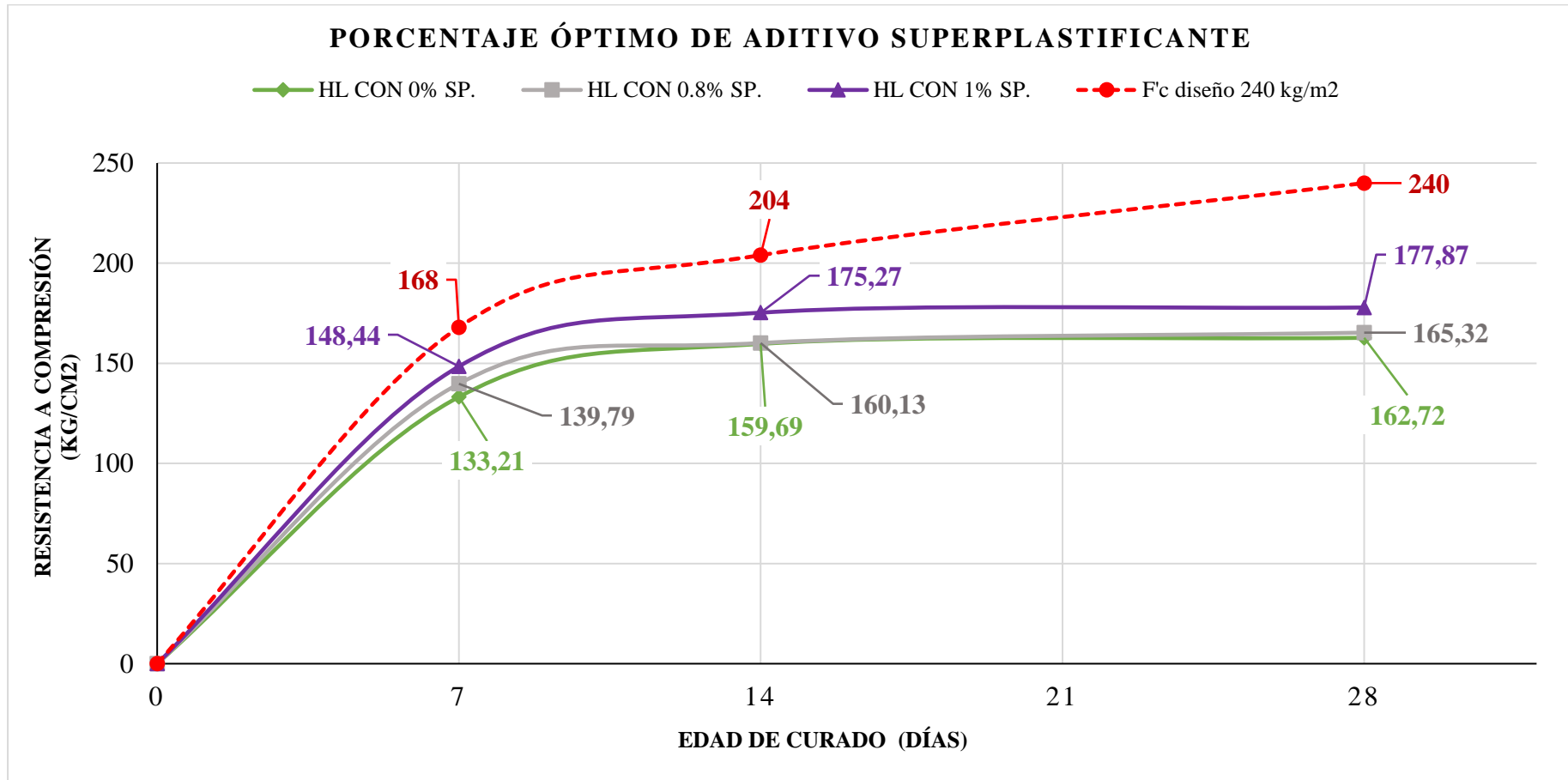


Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.-** De acuerdo al gráfico 17, de los resultados las mayores resistencias a compresión obtenidas a los 7,14 y 28 días de edad pertenecen al hormigón convencional con 1% de aditivo superplastificante con valores de 195.18, 261.40 y 311.60 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, a continuación el hormigón convencional con 0.8% de aditivo superplastificante con 180.47, 247.11 y 307.27 Kg/cm<sup>2</sup>, y finalmente el hormigón convencional con 0% de aditivo superplastificante con 161.86, 234.56 y 284.33 Kg/cm<sup>2</sup>. A los 7 días la resistencia del HC-1%sp. es 8.15% más resistente que el obtenido con el HC-0.8%sp. y 20.59% más que el HC-0%sp. A los 14 días la resistencia del HC-1%sp. es 5.78% más resistente que el obtenido con el HC-0.8%sp. y 11.44% más que el HC-0%sp. La resistencia a los 28 días con el HC-1%sp. es 1.41% más resistente que el obtenido con HC-0.8%sp. y 9.59% más que el HC-0%sp. En consecuencia, el porcentaje óptimo que garantice mayor resistencia a compresión del hormigón convencional es del 1% de aditivo superplastificante. La resistencia a compresión a los 28 días del HC-1%sp. es 29.83% más resistente que la resistencia a compresión de diseño (240 Kg/cm<sup>2</sup>).



**Gráfico 18.-** Porcentaje óptimo de aditivo superplastificante en el Hormigón Ligero.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.-** De acuerdo al gráfico 18, de los resultados las mayores resistencias a compresión obtenidas a los 7,14 y 28 días de edad pertenecen al hormigón ligero con 1% de aditivo superplastificante con valores de 148.44, 175.27 y 177.87 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, a continuación el hormigón ligero con 0.8% de aditivo superplastificante con 139.79, 160.13 y 165.32 Kg/cm<sup>2</sup>, y finalmente el hormigón ligero con 0% de aditivo superplastificante con 133.21, 159.69 y 162.72 Kg/cm<sup>2</sup>. A los 7 días la resistencia del HL-1%sp. es 6.19% más resistente que el obtenido con el HL-08%sp. y 11.44% más que el HL-0%sp. A los 14 días la resistencia del HL-1%sp. es 9.46% más resistente que el obtenido con el HL-0.8%sp. y 9.76% más que el HL-0%sp. La resistencia a los 28 días con el HL-1%sp. es 7.59% más resistente que el obtenido con HL-0.8%sp. y 9.31% más que el HL-0%sp. En consecuencia, el porcentaje óptimo que garantice mayor resistencia a compresión del hormigón ligero es del 1% de aditivo superplastificante. Sin embargo, el hormigón ligero con 1% de superplastificante es 75.18% menos resistente que el HC-1%sp. y 34.93% menor que la resistencia de diseño a los 28 días (240 Kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.1.3.2. Análisis de Precios Unitarios.

**Tabla 59.-** Precio unitario de H. Convencional  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con 0% sp.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |  |                                    |                      |                 |                 |
|---|--|------------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                                    |                      |                 |                 |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS   |  |                                    |                      |                 |                 |
| <b>RUBRO</b>  | 1  |                                    |                      | <b>UNIDAD</b>   | m3              |
| <b>DETALLE</b>  | Hormigón Convencional $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0% de superplastificante. |                                    |                      |                 |                 |
| EQUIPOS   |  |                                    |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD (A)   | TARIFA (B)                         | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIENTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| Herramienta menor   | 0.05   | 41.33                              | 2.07                 | 1.000           | 2.067           |
| Concretera 1 saco.  | 1.00   | 5.00                               | 5.00                 | 1.009           | 5.045           |
| Vibrador  | 1.00   | 2.50                               | 2.50                 | 1.009           | 2.523           |
| <b>SUBTOTAL (M)</b>   |  |                                    |                      |                 | 9.634           |
| MANO DE OBRA  |  |                                    |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)   | CANTIDAD (A)   | JORNAL /HRA (B)                    | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIENTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)  | 0.3  | 4.04                               | 1.212                | 1.009           | 1.22            |
| Albañil (Est. Ocup. D2)   | 3  | 3.65                               | 10.95                | 1.009           | 11.05           |
| Peón (Est. Ocup. E2)  | 8  | 3.6                                | 28.8                 | 1.009           | 29.06           |
| <b>SUBTOTAL (N)</b>   |  |                                    |                      |                 | 41.33           |
| MATERIALES  |  |                                    |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)                       | PRECIO UNITARIO (B)  | COSTO (C = A*B) |                 |
| Cemento Portland Tipo GU  | Kg   | 400.00                             | 0.13                 | 52.50           |                 |
| Arena Negra   | m3   | 0.62                               | 18.87                | 11.77           |                 |
| Ripio Triturado (3/4") 19mm   | m3   | 0.97                               | 18.00                | 17.54           |                 |
| Agua  | m3   | 0.20                               | 0.60                 | 0.12            |                 |
| <b>SUBTOTAL (O)</b>   |  |                                    |                      |                 | 81.93           |
| TRANSPORTE  |  |                                    |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)                       | TARIFA (B)           | COSTO (C =A*B)  |                 |
|   |  |                                    |                      | 0               |                 |
| <b>SUBTOTAL (P)</b>   |  |                                    |                      |                 | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>  |  |                                    |                      |                 | 132.89          |
| <b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>  |  |                                    |                      |                 | 0               |
| <b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>   |  |                                    |                      |                 | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>   |  |                                    |                      |                 | 132.89          |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   |  |                                    |                      |                 | <b>132.89</b>   |
| Son CIENTO TREINTA Y DOS DÓLARES CON OCHENTA Y NUEVE CENTAVOS.  |  |                                    |                      |                 |                 |
| <b>Nota:</b> Los precios no incluyen IVA.   |  | Dayana Pamela Benalcázar Quiquango |                      |                 |                 |
| Fecha: 11 Enero 2022  |  | ELABORADO                          |                      |                 |                 |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 60.-** Precio unitario de H. Convencional  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con 0.8% sp.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |  |                 |                      |                 |                 |
|---|--|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                 |                      |                 |                 |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS   |  |                 |                      |                 |                 |
| <b>RUBRO</b>  | 2  |                 |                      | <b>UNIDAD</b>   | m <sup>3</sup>  |
| <b>DETALLE</b>  | Hormigón Convencional $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0.8% de superplastificante. |                 |                      |                 |                 |
| EQUIPOS   |  |                 |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD (A)   | TARIFA (B)      | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIENTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| Herramienta menor   | 0.05   | 41.33           | 2.07                 | 1.000           | 2.07            |
| Concretera 1 saco.  | 1.00   | 5.00            | 5.00                 | 1.009           | 5.05            |
| Vibrador  | 1.00   | 2.50            | 2.50                 | 1.009           | 2.52            |
| <b>SUBTOTAL (M)</b>   |  |                 |                      |                 | 9.63            |
| MANO DE OBRA  |  |                 |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)   | CANTIDAD (A)   | JORNAL/ HRA (B) | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIENTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)  | 0.3  | 4.04            | 1.212                | 1.009           | 1.22            |
| Albañil (Est. Ocup. D2)   | 3  | 3.65            | 10.95                | 1.009           | 11.05           |
| Peón (Est. Ocup. E2)  | 8  | 3.6             | 28.8                 | 1.009           | 29.06           |
| <b>SUBTOTAL (N)</b>   |  |                 |                      |                 | 41.33           |
| MATERIALES  |  |                 |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | PRECIO UNITARIO (B)  | COSTO (C = A*B) |                 |
| Cemento Portland Tipo GU  | Kg   | 396.80          | 0.13                 | 52.08           |                 |
| Arena Negra   | m <sup>3</sup>   | 0.62            | 18.87                | 11.77           |                 |
| Ripio Triturado (3/4") 19mm   | m <sup>3</sup>   | 0.97            | 18.00                | 17.54           |                 |
| Agua  | m <sup>3</sup>   | 0.20            | 0.60                 | 0.12            |                 |
| Aditivo superplastificante.   | Kg   | 3.2             | 2.00                 | 6.40            |                 |
| <b>SUBTOTAL (O)</b>   |  |                 |                      |                 | 87.91           |
| TRANSPORTE  |  |                 |                      |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | TARIFA (B)           | COSTO (C =A*B)  |                 |
|   |  |                 |                      | 0               |                 |
| <b>SUBTOTAL (P)</b>   |  |                 |                      |                 | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>  |  |                 |                      |                 | 138.87          |
| <b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>  |  |                 |                      |                 | 0               |
| <b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>   |  |                 |                      |                 | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>   |  |                 |                      |                 | 138.87          |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   |  |                 |                      |                 | <b>138.87</b>   |
| Son CIENTO TREINTA Y OCHO DÓLARES CON OCHENTA Y SIETE CENTAVOS.   |  |                 |                      |                 |                 |
| <b>Nota:</b> Los precios no incluyen IVA. <span style="float: right;">Dayana Pamela Benalcázar Quiguango</span>   |  |                 |                      |                 |                 |
| <b>Fecha:</b> Enero 2022 <span style="float: right;">ELABORADO</span>   |  |                 |                      |                 |                 |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 61.-** Precio unitario de H. Convencional  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con 1% sp.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |  |                 |                                    |                 |                 |
|---|--|-----------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                 |                                    |                 |                 |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS   |  |                 |                                    |                 |                 |
| <b>RUBRO</b>  | 3  |                 |                                    | <b>UNIDAD</b>   | m <sup>3</sup>  |
| <b>DETALLE</b>  | Hormigón Convencional $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 1% de superplastificante. |                 |                                    |                 |                 |
| EQUIPOS   |  |                 |                                    |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD (A)   | TARIFA (B)      | COSTO HORA (C = A*B)               | RENDIMIENTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| Herramienta menor   | 0.05   | 41.33           | 2.07                               | 1.000           | 2.07            |
| Concretera 1 saco.  | 1.00   | 5.00            | 5.00                               | 1.009           | 5.05            |
| Vibrador  | 1.00   | 2.50            | 2.50                               | 1.009           | 2.52            |
| <b>SUBTOTAL (M)</b>   |  |                 |                                    |                 | 9.63            |
| MANO DE OBRA  |  |                 |                                    |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)   | CANTIDAD (A)   | JORNAL/ HRA (B) | COSTO HORA (C = A*B)               | RENDIMIENTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)  | 0.3  | 4.04            | 1.212                              | 1.009           | 1.22            |
| Albañil (Est. Ocup. D2)   | 3  | 3.65            | 10.95                              | 1.009           | 11.05           |
| Peón (Est. Ocup. E2)  | 8  | 3.6             | 28.8                               | 1.009           | 29.06           |
| <b>SUBTOTAL (N)</b>   |  |                 |                                    |                 | 41.33           |
| MATERIALES  |  |                 |                                    |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | PRECIO UNITARIO (B)                | COSTO (C = A*B) |                 |
| Cemento Portland Tipo GU  | Kg   | 396.00          | 0.13                               | 51.98           |                 |
| Arena Negra   | m <sup>3</sup>   | 0.62            | 18.87                              | 11.77           |                 |
| Ripio Triturado (3/4") 19mm   | m <sup>3</sup>   | 0.97            | 18.00                              | 17.54           |                 |
| Agua  | m <sup>3</sup>   | 0.20            | 0.60                               | 0.12            |                 |
| Aditivo superplastificante  | Kg   | 4.00            | 2.00                               | 8.00            |                 |
| <b>SUBTOTAL (O)</b>   |  |                 |                                    |                 | 89.40           |
| TRANSPORTE  |  |                 |                                    |                 |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | TARIFA (B)                         | COSTO (C =A*B)  |                 |
|   |  |                 |                                    | 0               |                 |
| <b>SUBTOTAL (P)</b>   |  |                 |                                    |                 | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>  |  |                 |                                    |                 | 140.37          |
| <b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>  |  |                 |                                    |                 | 0               |
| <b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>   |  |                 |                                    |                 | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>   |  |                 |                                    |                 | 140.37          |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   |  |                 |                                    |                 | <b>140.37</b>   |
| Son CIENTO CUARENTA DÓLARES CON TREINTA Y SIETE CENTAVOS.   |  |                 |                                    |                 |                 |
| <b>Nota:</b> Los precios no incluyen IVA.   |  |                 | Dayana Pamela Benalcázar Quiquango |                 |                 |
| <b>Fecha:</b> Enero 2022  |  |                 | ELABORADO                          |                 |                 |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 62.-** Precio unitario de H. Ligerio  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con 0% sp.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |   |                |                                    |                                      |                 |
|---|---|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |                |                                    |                                      |                 |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS   |   |                |                                    |                                      |                 |
| <b>RUBRO</b>  | 4   |                |                                    | <b>UNIDAD</b>                        | m3              |
| <b>DETALLE</b>  | Hormigón Ligerio $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0% de superplastificante. |                |                                    |                                      |                 |
| EQUIPOS   |   |                |                                    |                                      |                 |
| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD (A)  | TARIFA (B)     | COSTO HORA (C = A*B)               | RENDIMIENTO (R)                      | COSTO (D = C*R) |
| Herramienta menor   | 0.05  | 41.33          | 2.07                               | 1.000                                | 2.07            |
| Concretera 1 saco.  | 1.00  | 5.00           | 5.00                               | 1.009                                | 5.05            |
| Vibrador  | 1.00  | 2.50           | 2.50                               | 1.009                                | 2.52            |
| <b>SUBTOTAL (M)</b>   |   |                |                                    |                                      | 9.63            |
| MANO DE OBRA  |   |                |                                    |                                      |                 |
| DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)   | CANTIDAD (A)  | JORNAL/HRA (B) | COSTO HORA (C = A*B)               | RENDIMIENTO (R)                      | COSTO (D = C*R) |
| M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)  | 0.3   | 4.04           | 1.212                              | 1.009                                | 1.22            |
| Albañil (Est. Ocup. D2)   | 3   | 3.65           | 10.95                              | 1.009                                | 11.05           |
| Peón (Est. Ocup. E2)  | 8   | 3.6            | 28.8                               | 1.009                                | 29.06           |
| <b>SUBTOTAL (N)</b>   |   |                |                                    |                                      | 41.33           |
| MATERIALES  |   |                |                                    |                                      |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD  | CANTIDAD (A)   | PRECIO UNITARIO (B)                | COSTO (C = A*B)                      |                 |
| Cemento Portland Tipo GU  | Kg  | 396.08         | 0.13                               | 51.99                                |                 |
| Arena Negra   | m3  | 0.52           | 18.87                              | 9.85                                 |                 |
| Piedra Pómez (3/4") 19mm  | m3  | 0.46           | 28.00                              | 12.85                                |                 |
| Agua  | m3  | 0.20           | 0.60                               | 0.12                                 |                 |
| <b>SUBTOTAL (O)</b>   |   |                |                                    |                                      | 74.82           |
| TRANSPORTE  |   |                |                                    |                                      |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD  | CANTIDAD (A)   | TARIFA (B)                         | COSTO (C=A*B)                        |                 |
|   |   |                |                                    | 0                                    |                 |
| <b>SUBTOTAL (P)</b>   |   |                |                                    |                                      | 0               |
|   |   |                |                                    | <b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b> | 125.78          |
|   |   |                |                                    | <b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b> | 0.00            |
|   |   |                |                                    | <b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>        | 0.00            |
|   |   |                |                                    | <b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>          | 125.78          |
|   |   |                |                                    | <b>VALOR UNITARIO</b>                | <b>125.78</b>   |
| Son CIENTO VEINTE Y CINCO DÓLARES CON SETENTA Y OCHO CENTAVOS.  |   |                |                                    |                                      |                 |
| <b>Nota:</b> Los precios no incluyen IVA.   |   |                | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango |                                      |                 |
| Fecha: 11 Enero 2022  |   |                | ELABORADO                          |                                      |                 |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 63.-** Precio unitario de H. Ligero  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con 0.8% sp.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |  |                 |                      |                  |                 |
|---|--|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                 |                      |                  |                 |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS   |  |                 |                      |                  |                 |
| <b>RUBRO</b>  | 5  |                 |                      | <b>UNIDAD</b>    | m3              |
| <b>DETALLE</b>  | Hormigón Ligero $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 0.8% de superplastificante. |                 |                      |                  |                 |
| EQUIPOS   |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD (A)   | TARIFA (B)      | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIENTO (R)  | COSTO (D = C*R) |
| Herramienta menor   | 0.05   | 41.33           | 2.07                 | 1.000            | 2.07            |
| Concretera 1 saco.  | 1.00   | 5.00            | 5.00                 | 1.009            | 5.05            |
| Vibrador  | 1.00   | 2.50            | 2.50                 | 1.009            | 2.52            |
| <b>SUBTOTAL (M)</b>   |  |                 |                      |                  | 9.63            |
| MANO DE OBRA  |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)   | CANTIDAD (A)   | JORNAL /HRA (B) | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIE NTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)  | 0.3  | 4.04            | 1.212                | 1.009            | 1.22            |
| Albañil (Est. Ocup. D2)   | 3  | 3.65            | 10.95                | 1.009            | 11.05           |
| Peón (Est. Ocup. E2)  | 8  | 3.6             | 28.8                 | 1.009            | 29.06           |
| <b>SUBTOTAL (N)</b>   |  |                 |                      |                  | 41.33           |
| MATERIALES  |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | PRECIO UNITARIO (B)  | COSTO (C = A*B)  |                 |
| Cemento Portland Tipo GU  | Kg   | 392.91          | 0.13                 | 51.57            |                 |
| Arena Negra   | m3   | 0.52            | 18.87                | 9.85             |                 |
| Piedra Pómez (3/4") 19mm  | m3   | 0.46            | 28.00                | 12.85            |                 |
| Agua  | m3   | 0.20            | 0.60                 | 0.12             |                 |
| Aditivo superplastificante  | Kg   | 3.17            | 2.00                 | 6.34             |                 |
| <b>SUBTOTAL (O)</b>   |  |                 |                      |                  | 80.74           |
| TRANSPORTE  |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | TARIFA (B)           | COSTO (C =A*B)   |                 |
|   |  |                 |                      | 0                |                 |
| <b>SUBTOTAL (P)</b>   |  |                 |                      |                  | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>  |  |                 |                      | 131.70           |                 |
| <b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>  |  |                 |                      | 0.00             |                 |
| <b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>   |  |                 |                      | 0.00             |                 |
| <b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>   |  |                 |                      | 131.70           |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   |  |                 |                      | <b>131.70</b>    |                 |
| Son CIENTO TREINTA Y UN DÓLARES CON SETENTA CENTAVOS.   |  |                 |                      |                  |                 |
| Dayana Pamela Benalcázar Quiguango  |  |                 |                      |                  |                 |
| Nota: Los precios no incluyen IVA.<br>Fecha: 11 Enero 2022  |  |                 | ELABORADO            |                  |                 |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

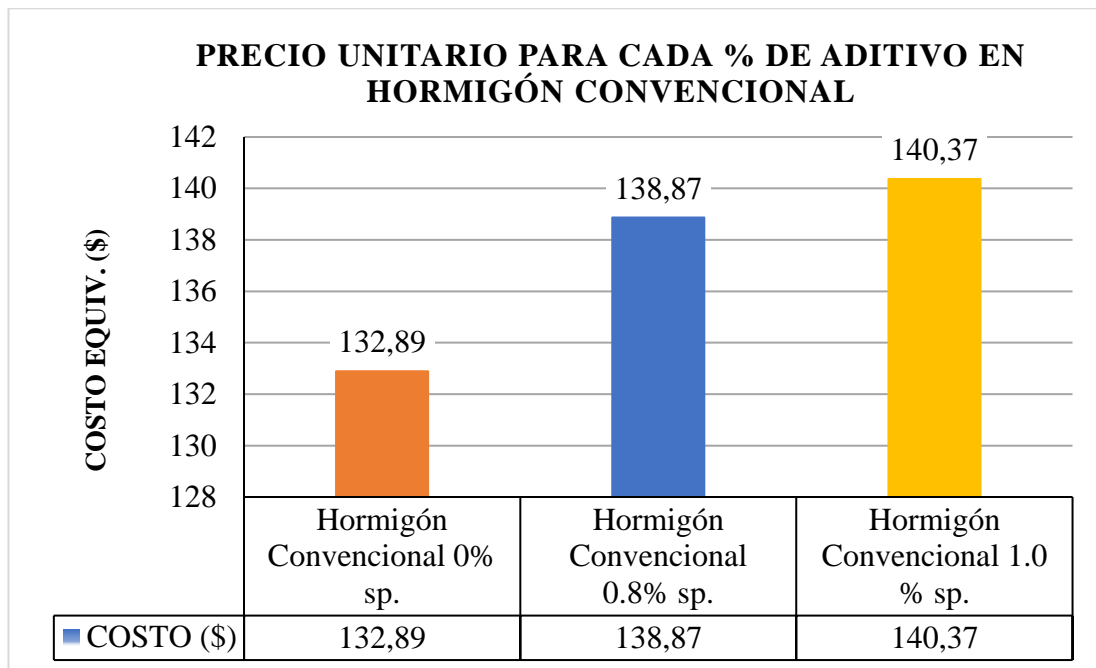
**Tabla 64.-** Precio unitario de H. Ligerero  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con 1% sp.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |  |                 |                      |                  |                 |
|---|--|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                 |                      |                  |                 |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS   |  |                 |                      |                  |                 |
| <b>RUBRO</b>  | 6  |                 |                      | <b>UNIDAD</b>    | m3              |
| <b>DETALLE</b>  | Hormigón Ligerero $f'c=240$ Kg/cm <sup>2</sup> con 1% de superplastificante. |                 |                      |                  |                 |
| EQUIPOS   |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD (A)   | TARIFA (B)      | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIENTO (R)  | COSTO (D = C*R) |
| Herramienta menor   | 0.05   | 41.33           | 2.07                 | 1.000            | 2.07            |
| Concretera 1 saco.  | 1.00   | 5.00            | 5.00                 | 1.009            | 5.05            |
| Vibrador  | 1.00   | 2.50            | 2.50                 | 1.009            | 2.52            |
| <b>SUBTOTAL (M)</b>   |  |                 |                      |                  | 9.63            |
| MANO DE OBRA  |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)   | CANTIDAD (A)   | JORNAL /HRA (B) | COSTO HORA (C = A*B) | RENDIMIE NTO (R) | COSTO (D = C*R) |
| M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)  | 0.3  | 4.04            | 1.212                | 1.009            | 1.22            |
| Albañil (Est. Ocup. D2)   | 3  | 3.65            | 10.95                | 1.009            | 11.05           |
| Peón (Est. Ocup. E2)  | 8  | 3.6             | 28.8                 | 1.009            | 29.06           |
| <b>SUBTOTAL (N)</b>   |  |                 |                      |                  | 41.33           |
| MATERIALES  |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | PRECIO UNITARIO (B)  | COSTO (C = A*B)  |                 |
| Cemento Portland Tipo GU  | Kg   | 392.12          | 0.13                 | 51.47            |                 |
| Arena Negra   | m3   | 0.52            | 18.87                | 9.85             |                 |
| Piedra Pómez (3/4") 19mm  | m3   | 0.46            | 28.00                | 12.85            |                 |
| Agua  | m3   | 0.20            | 0.60                 | 0.12             |                 |
| Aditivo superplastificante  | Kg   | 3.96            | 2.00                 | 7.92             |                 |
| <b>SUBTOTAL (O)</b>   |  |                 |                      |                  | 82.22           |
| TRANSPORTE  |  |                 |                      |                  |                 |
| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | CANTIDAD (A)    | TARIFA (B)           | COSTO (C =A*B)   |                 |
|   |  |                 |                      | 0                |                 |
| <b>SUBTOTAL (P)</b>   |  |                 |                      |                  | 0               |
| <b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>  |  |                 |                      | 133.18           |                 |
| <b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>  |  |                 |                      | 0.00             |                 |
| <b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>   |  |                 |                      | 0.00             |                 |
| <b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>   |  |                 |                      | 133.18           |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   |  |                 |                      | <b>133.18</b>    |                 |
| Son CIENTO TREINTA Y TRES DÓLARES CON DIECIOCHO CENTAVOS.   |  |                 |                      |                  |                 |
| Dayana Pamela Benalcázar Quiguango  |  |                 |                      |                  |                 |
| <b>Nota:</b> Los precios no incluyen IVA.<br>Fecha: 11 Enero 2022   |  |                 | ELABORADO            |                  |                 |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

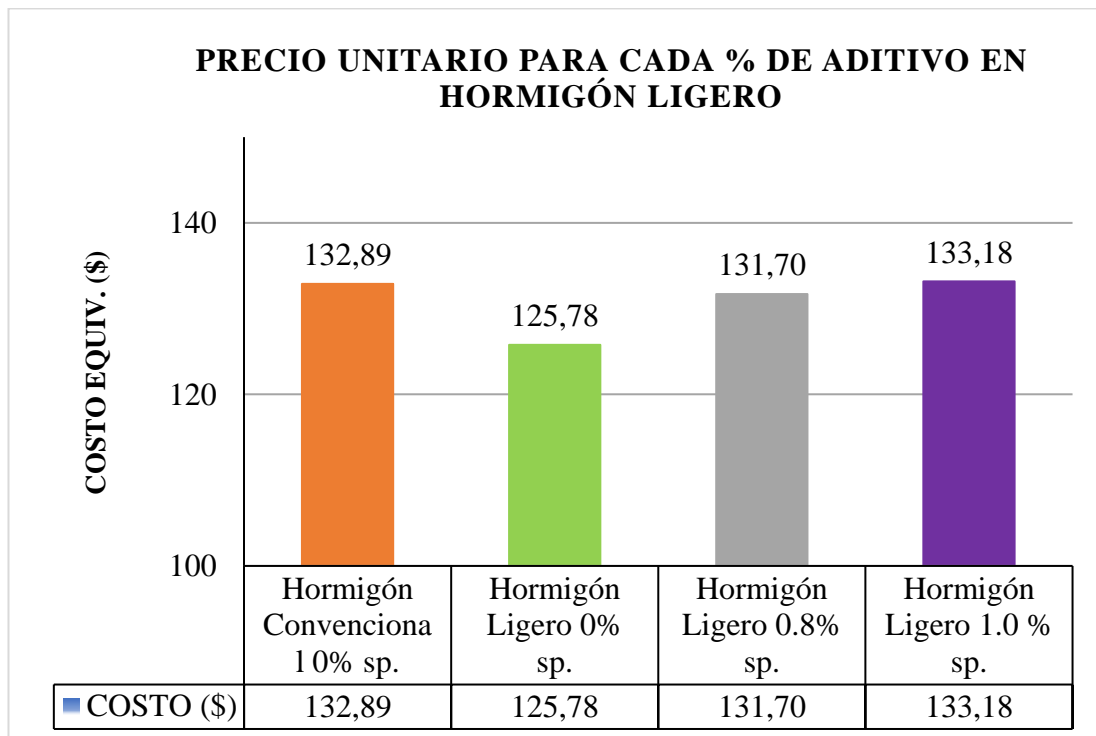


**Gráfico 19.-** Precio Unitario para cada porcentaje de aditivo en hormigón convencional.



Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

**Gráfico 20.-** Precio Unitario para cada porcentaje de aditivo en hormigón ligero.



Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 19 y 20, se realizaron análisis de precios unitarios sin incluir IVA, del hormigón convencional con 0% de aditivo superplastificante para resistencia de diseño  $f'_c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con un valor de referencia de \$132.89 dólares, mientras que para el H.C. con 0.8 y 1% de aditivo superplastificante se obtuvo valores de \$138.87 y \$140.87 dólares respectivamente. Por otro lado, para el hormigón ligero con 0, 0.8 y 1% de aditivo superplastificante los valores de \$125.78, \$131.70 y 133.18 dólares respectivamente. Determinándose un aumento por precio unitario en el HC-0.8sp. de 4.50% y con el HC-1sp. de 5.63% con respecto al valor referencial. En cuanto al hormigón ligero se observa una reducción de precio unitario en el HL-0sp. de 5.35%, el HL-0.8sp. de 0.9% con respecto al valor de referencia, mientras que el HL-1% presenta un aumento del 0.22% del valor de referencia.

Estableciéndose que el hormigón convencional con los porcentajes de 0.8 y 1% de aditivo resultan más costosos, aunque ayuden a reducir la cantidad de cemento empleado en el hormigón sin aditivo ya que el precio de cada Kg de aditivo superplastificante es de \$2.00 dólares y el precio por Kg de cemento es de \$0.13 dólares, tomando en cuenta que los precios calculados no incluyen IVA. Por otro lado, para el hormigón ligero se observa que, para los porcentajes de 0, 0.8 y 1% de superplastificante, el precio unitario aumenta conforme mayor es el porcentaje de adición. Sin embargo, respecto al valor de referencia hay una reducción de precios debido a la menor cantidad en peso de agregado grueso. Por lo que una reducción en el costo no representa un ahorro ya que las resistencias son inferiores. En consecuencia, se realizará un análisis costo-beneficio que relacione el precio unitario y resistencia a compresión obtenida a los 28 días de cada hormigón y así conseguir valores más reales.

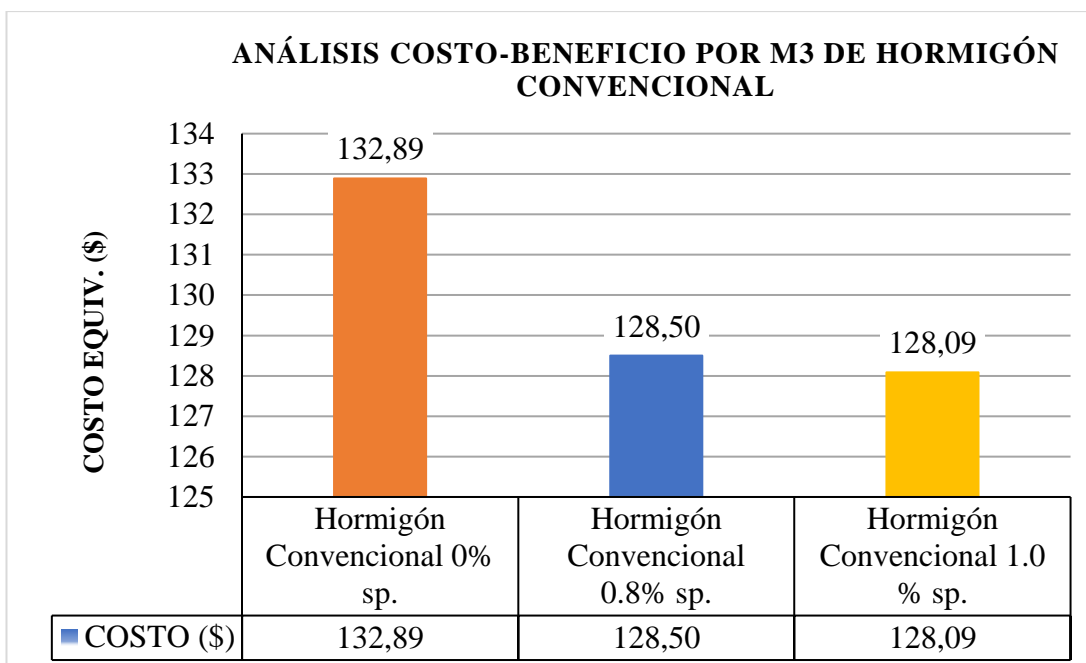
### 3.1.3.3. Análisis Costo-Beneficio.

**Tabla 65.-** Comparación de costos por m<sup>3</sup> para cada tipo de Hormigón propuesto.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL  |  |                            |                     |                        |                      |                     |
|---|--|----------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO  |  |                            |                     |                        |                      |                     |
| <p><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240</math> kg/cm<sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |  |                            |                     |                        |                      |                     |
| COMPARACIÓN DE COSTOS POR M <sup>3</sup> DE HORMIGÓN  |  |                            |                     |                        |                      |                     |
| TIPO DE HORMIGÓN  | RESISTENCIA A COMPRESIÓN 28 DÍAS (Kg/cm <sup>2</sup> ) | RESISTENCIA PORCENTUAL (%) | VALOR UNITARIO (\$) | COSTO EQUIVALENTE (\$) | VALOR EN AHORRO (\$) | VALOR EN AHORRO (%) |
| Hormigón Convencional<br>0% sp. f'c<br>240 Kg/cm <sup>2</sup>   | 284.33   | 100                        | 132.89              | 132.89                 | 0.00                 | 0.00                |
| Hormigón Convencional<br>0.8% sp. f'c<br>240 Kg/cm <sup>2</sup>   | 307.27   | 108.07                     | 138.87              | 128.50                 | 4.39                 | 3.30                |
| Hormigón Convencional<br>1.0 % sp. f'c<br>240 Kg/cm <sup>2</sup>  | 311.597  | 109.59                     | 140.37              | 128.09                 | 4.80                 | 3.61                |
| Hormigón Ligero 0% sp. f'c 240 Kg/cm <sup>2</sup>   | 162.72   | 57.23                      | 125.78              | 219.78                 | -86.89               | -65.39              |
| Hormigón Ligero 0.8% sp. f'c 240 Kg/cm <sup>2</sup>   | 165.32   | 58.14                      | 131.70              | 226.51                 | -93.62               | -70.45              |
| Hormigón Ligero 1.0 % sp. f'c 240 Kg/cm <sup>2</sup>  | 177.87   | 62.56                      | 133.18              | 212.89                 | -80.00               | -60.20              |

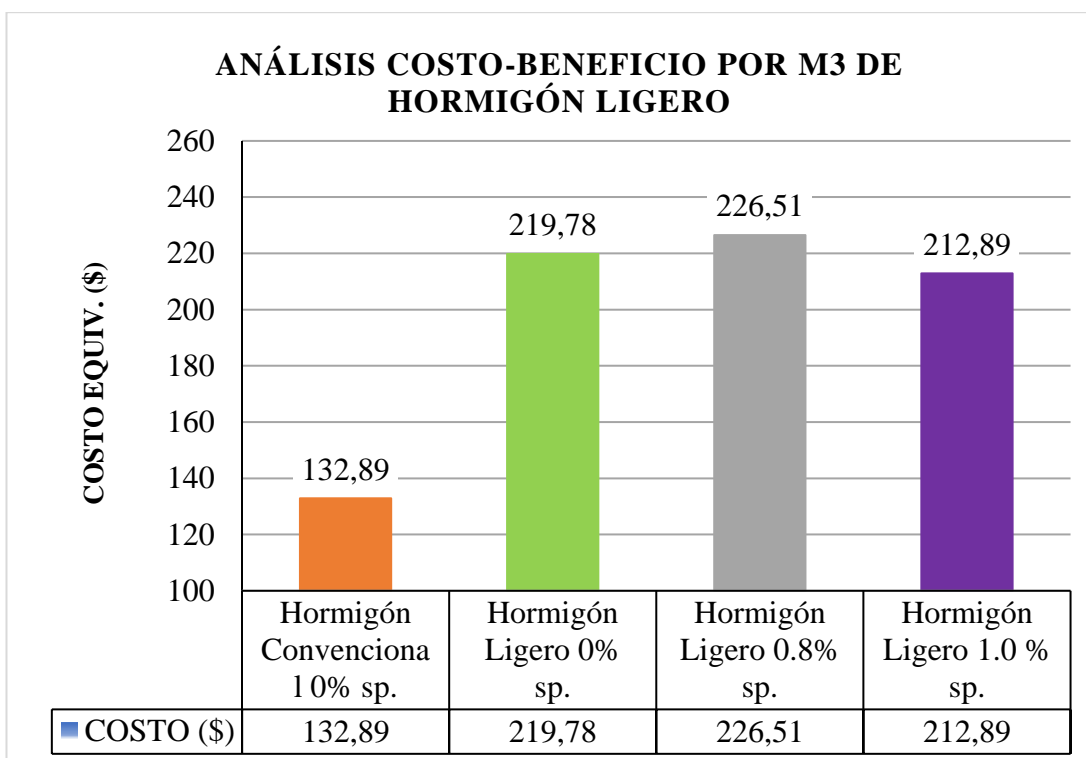
Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Gráfico 21.-** Análisis costo-beneficio por m3 en hormigón convencional.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Gráfico 22.-** Análisis costo-beneficio por m3 en hormigón ligero.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

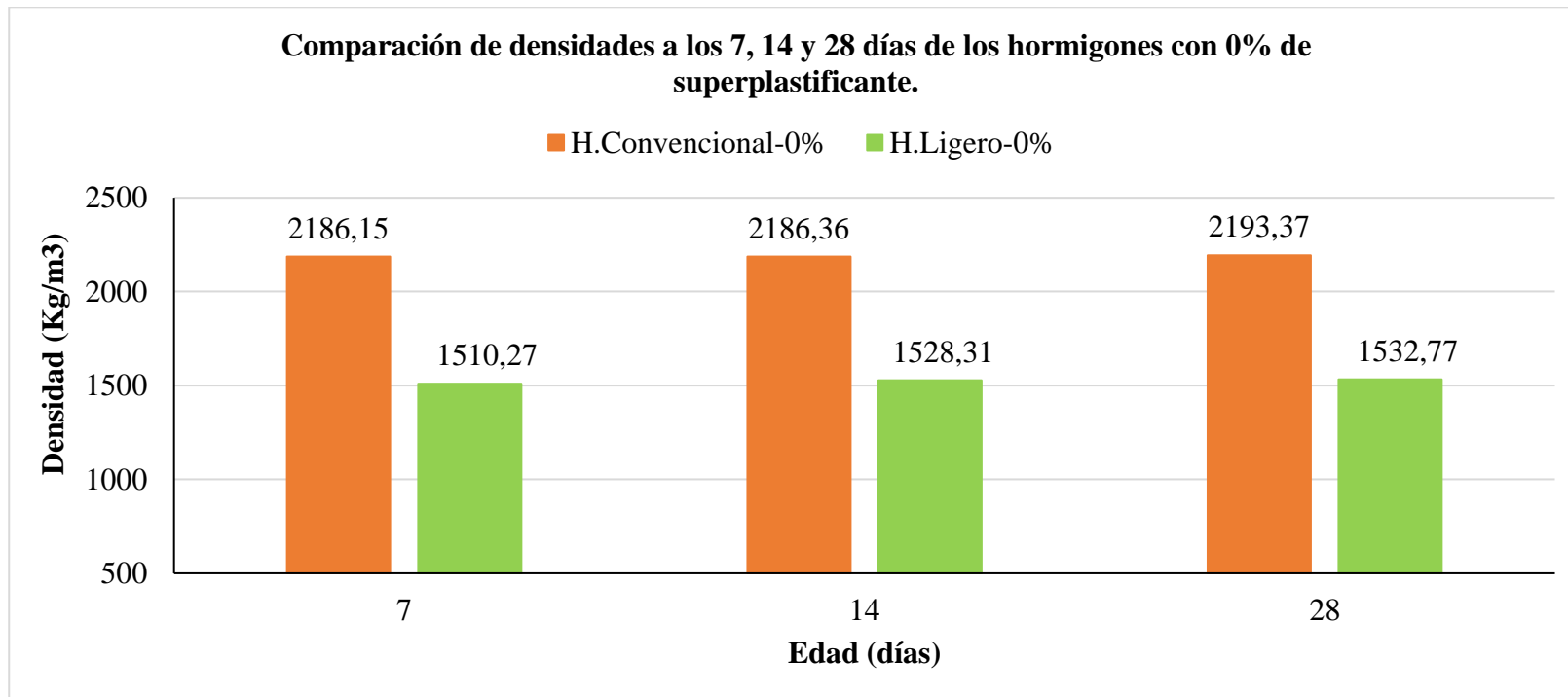
**Análisis de resultados.** - De acuerdo a la tabla 65, gráfico 21 y 22, se realizó el análisis comparativo costo – beneficio por  $c/m^3$  de hormigón convencional con 0% de aditivo superplastificante con resistencia de diseño  $f'c=240$  Kg/cm<sup>2</sup> con un costo de referencia de \$132.89 dólares sin IVA. Efectuando una relación entre el precio unitario y la resistencia a compresión a los 28 días de cada porcentaje de aditivo en cada tipo de hormigón propuesto y compararlos con el valor de referencia. De manera que se estableció un precio equivalente de \$219.78, \$226.51 y \$212.89 dólares, en el hormigón ligero con 0, 0.8 y 1% de aditivo superplastificante, observándose un costo superior por  $m^3$  del 65.39% (\$86.89 dólares), 70.45%(\$93.62 dólares) y 60.20%(\$80 dólares) respectivamente en función al hormigón de referencia. Evidenciando que con el uso de piedra pómez como agregado grueso y aditivo superplastificante en los porcentajes propuestos no ocurre un ahorro económico, ni incremento de resistencia.

En contraste a lo mencionado, para el hormigón convencional con el 0.8 y 1% de aditivo superplastificante, se determinó un costo equivalente de \$128.50 y \$128.09 dólares, observándose un ahorro por  $m^3$  de 3.30%(\$4.39 dólares) y 3.61%(\$4.80 dólares) respectivamente en función al hormigón de referencia.

Expresando que la adición de 0.8 y 1% de superplastificante presentan un ahorro económico, siendo la más favorable la del 1%, sin embargo, la diferencia en costo y resistencia con el 0.8% de superplastificante es minúscula.

### 3.1.4. Resumen de Resultados

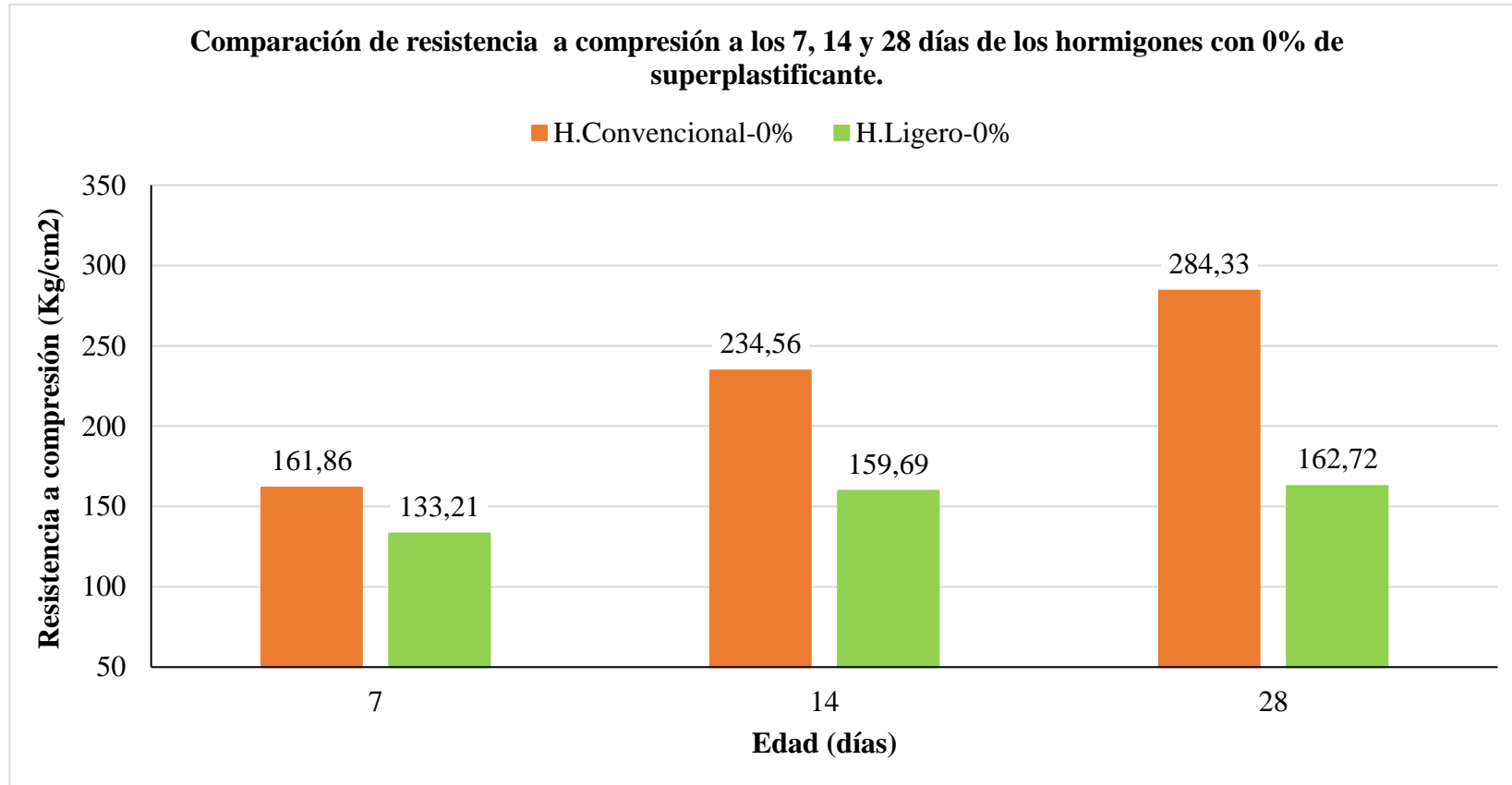
**Gráfico 23.-** Comparación de densidades a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0% de superplastificante.



Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 23, en el hormigón convencional sin aditivo el porcentaje de incremento de la densidad promedio fue de 0.01% a los 14 días y 0.32% a los 28 días. Mientras que en el hormigón ligero sin aditivo el porcentaje de incremento de la densidad promedio fue de 1.19% a los 14 días y 0.29% a los 28 días. Denotando que existe un mayor porcentaje de incremento de la densidad promedio a los 28 días para el HC-0sp. y a los 14 días para el HL-0sp. Comparando el hormigón convencional y ligero sin aditivo se puede notar una reducción en la densidad del hormigón ligero de 44.75% a los 7 días, 43.06% a los 14 días y 43.10% a los 28 días. En consecuencia, la reducción de densidad del hormigón ligero respecto al convencional sin aditivo es mayor a los 7 días de edad.

**Gráfico 24.-** Comparación de resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0% de superplastificante.

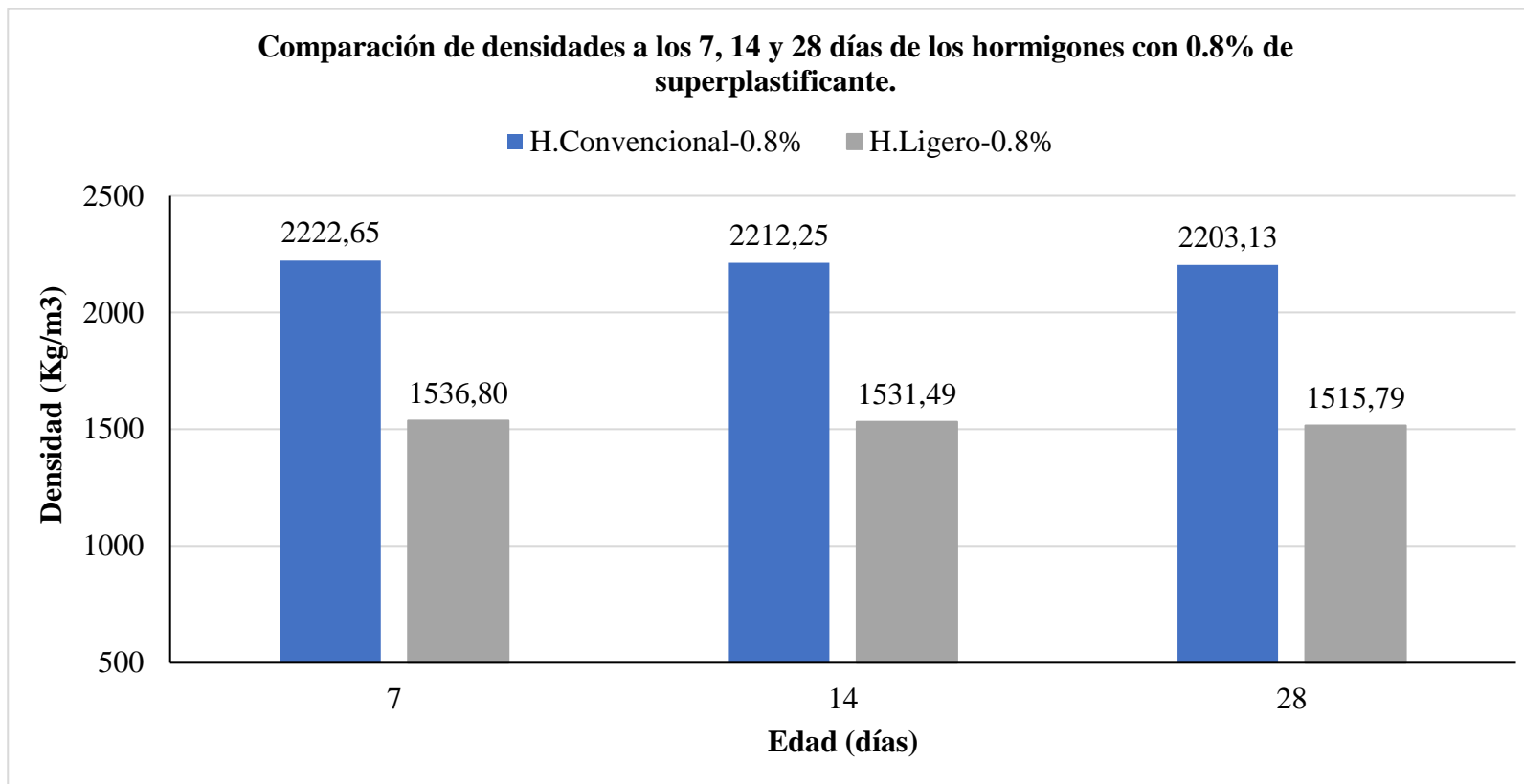


Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.



**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 24, en el hormigón convencional sin aditivo el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio fue de 67.44% a los 7 días, 44.92% a los 14 días y 21.22% a los 28 días. Mientras que en el hormigón ligero sin aditivo el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio fue de 55.50% a los 7 días, 19.88% a los 14 días y 1.90% a los 28 días. Denotando que existe un mayor porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio a los 7 días para el HC-0sp. y HL-0sp. Comparando el hormigón convencional y ligero sin aditivo se puede notar una reducción en la resistencia del hormigón ligero de 21.51% a los 7 días, 46.88% a los 14 días y 74.73% a los 28 días. En consecuencia, la reducción de resistencia a compresión del hormigón ligero respecto al convencional sin aditivo es mayor a los 28 días de edad.

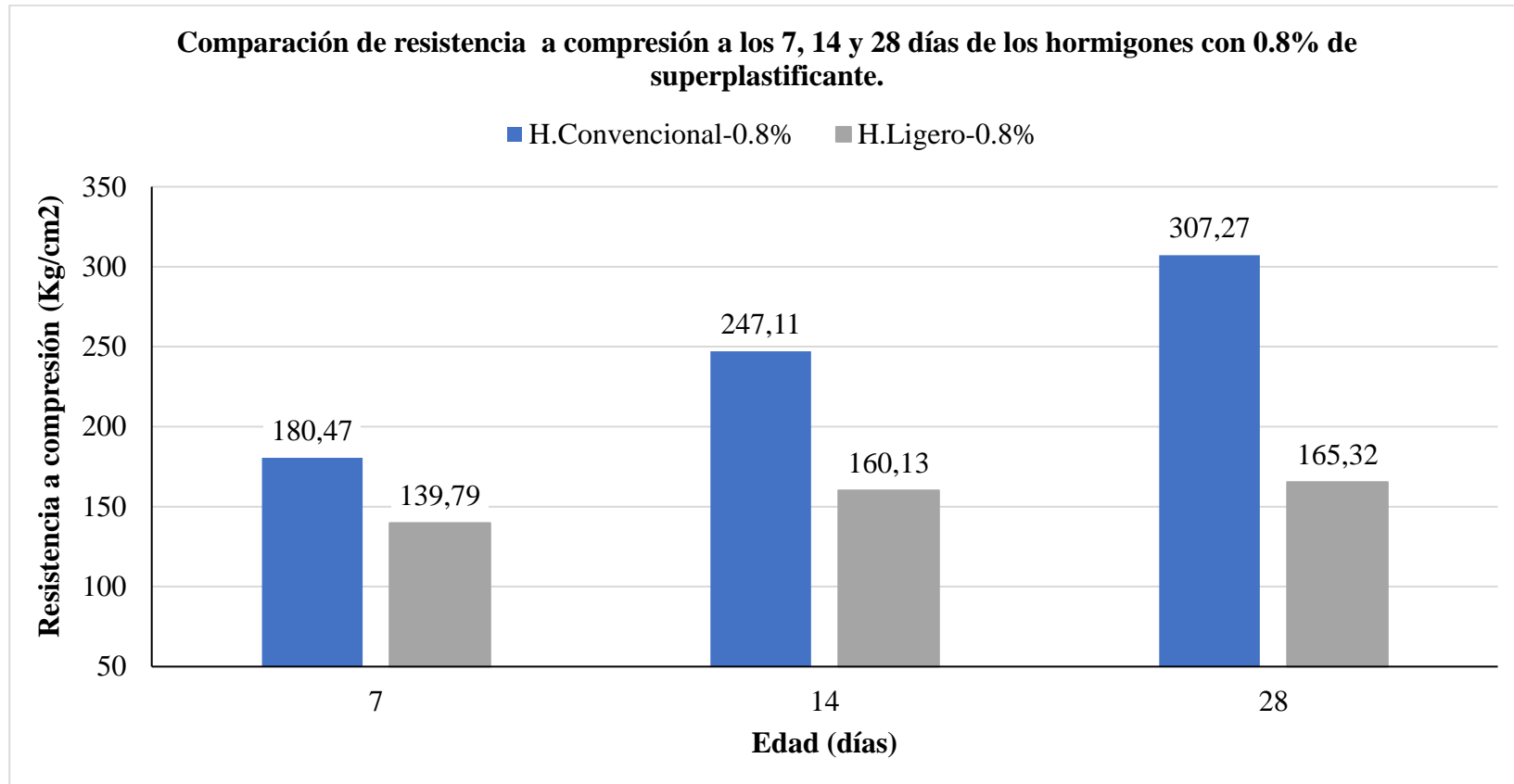
**Gráfico 25.-** Comparación de densidades a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0.8% de superplastificante.



Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 25, en el hormigón convencional con 0.8% de superplastificante el porcentaje de reducción de la densidad promedio fue de 0.47% a los 14 días y 0.41% a los 28 días. Mientras que en el hormigón ligero con 0.8% de superplastificante el porcentaje de reducción de la densidad promedio fue de 0.35% a los 14 días y 1.03% a los 28 días. Denotando que existe un mayor porcentaje de reducción de la densidad promedio a los 14 días para el HC-0.8sp. y a los 28 días para el HL-0.8sp. Comparando el hormigón convencional y ligero con 0.8% de superplastificante se puede notar una reducción en la densidad del hormigón ligero de 44.63% a los 7 días, 44.45% a los 14 días y 45.35% a los 28 días. En consecuencia, la reducción de densidad del hormigón ligero respecto al convencional con 0.8% de superplastificante es mayor a los 28 días de edad.

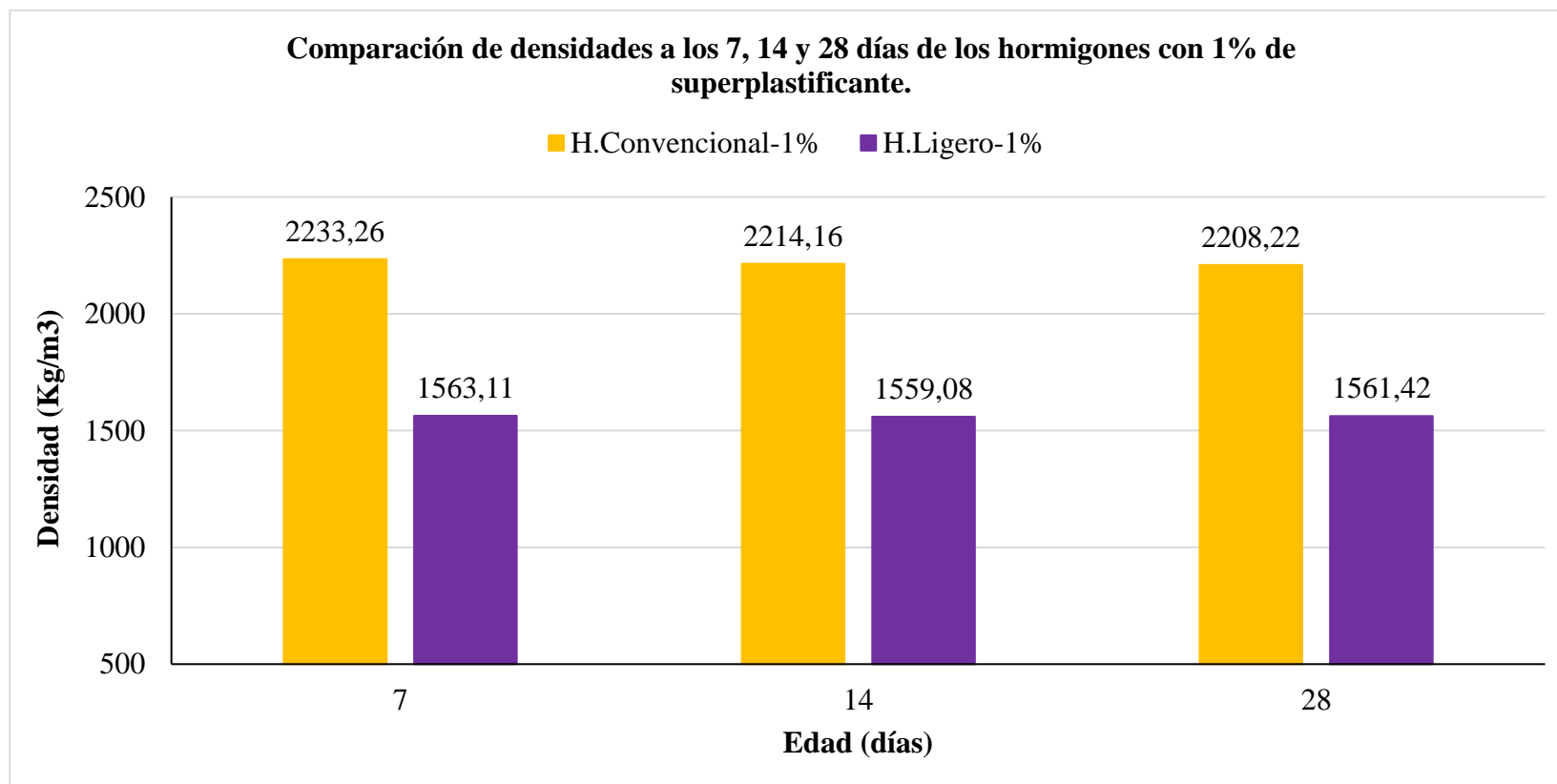
**Gráfico 26.-** Comparación de resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 0.8% de superplastificante.



Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 26, en el hormigón convencional con 0.8% de superplastificante el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio fue de 75.19% a los 7 días, 36.93% a los 14 días y 24.34% a los 28 días. Mientras que en el hormigón ligero con 0.8% de superplastificante el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio fue de 58.24% a los 7 días, 14.55% a los 14 días y 3.24% a los 28 días. Denotando que existe un mayor porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio a los 7 días para el HC-0.8sp. y HL-0.8sp. Comparando el hormigón convencional y ligero con 0.8% de superplastificante se puede notar una reducción en la resistencia del hormigón ligero de 29.10% a los 7 días, 54.32% a los 14 días y 85.86% a los 28 días. En consecuencia, la reducción de resistencia a compresión del hormigón ligero respecto al convencional con 0.8% de superplastificante es mayor a los 28 días de edad.

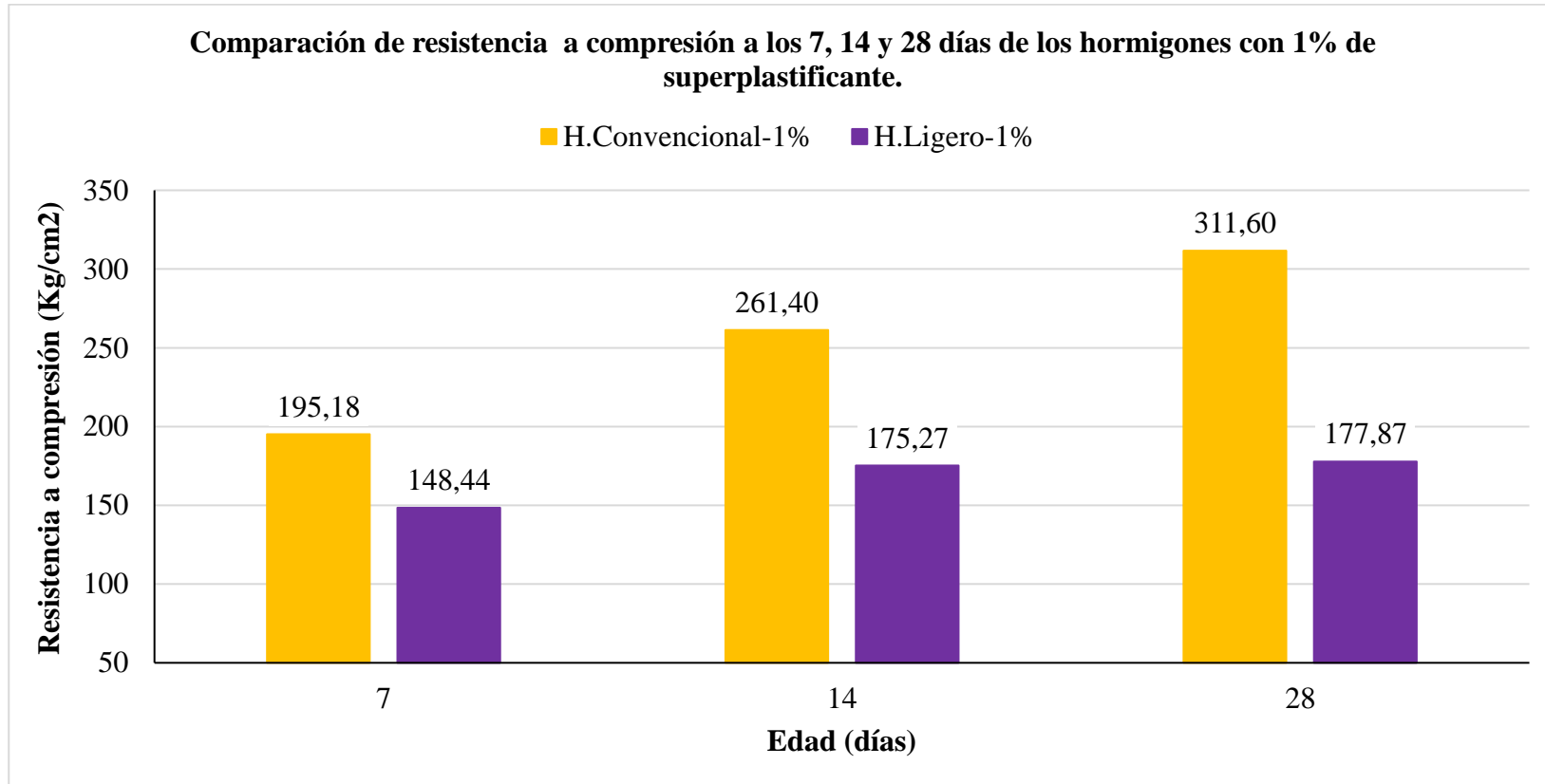
**Gráfico 27.-** Comparación de densidades a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 1% de superplastificante.



Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 27, en el hormigón convencional con 1% de superplastificante el porcentaje de reducción de la densidad promedio fue de 0.86% a los 14 días y 0.27% a los 28 días. Mientras que en el hormigón ligero con 0.1% de superplastificante el porcentaje de reducción de la densidad promedio fue de 0.26% a los 14 días y un porcentaje de incremento de 0.15% a los 28 días. Denotando que existe un mayor porcentaje de reducción de la densidad promedio a los 14 días para el HC-1sp. y HL-1sp. Comparando el hormigón convencional y ligero con 1% de superplastificante se puede notar una reducción en la densidad del hormigón ligero de 42.87% a los 7 días, 42.02% a los 14 días y 41.42% a los 28 días. En consecuencia, la reducción de densidad del hormigón ligero respecto al convencional con 1% de superplastificante es mayor a los 7 días de edad.

**Gráfico 28.-** Comparación de resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de los hormigones con 1% de superplastificante.

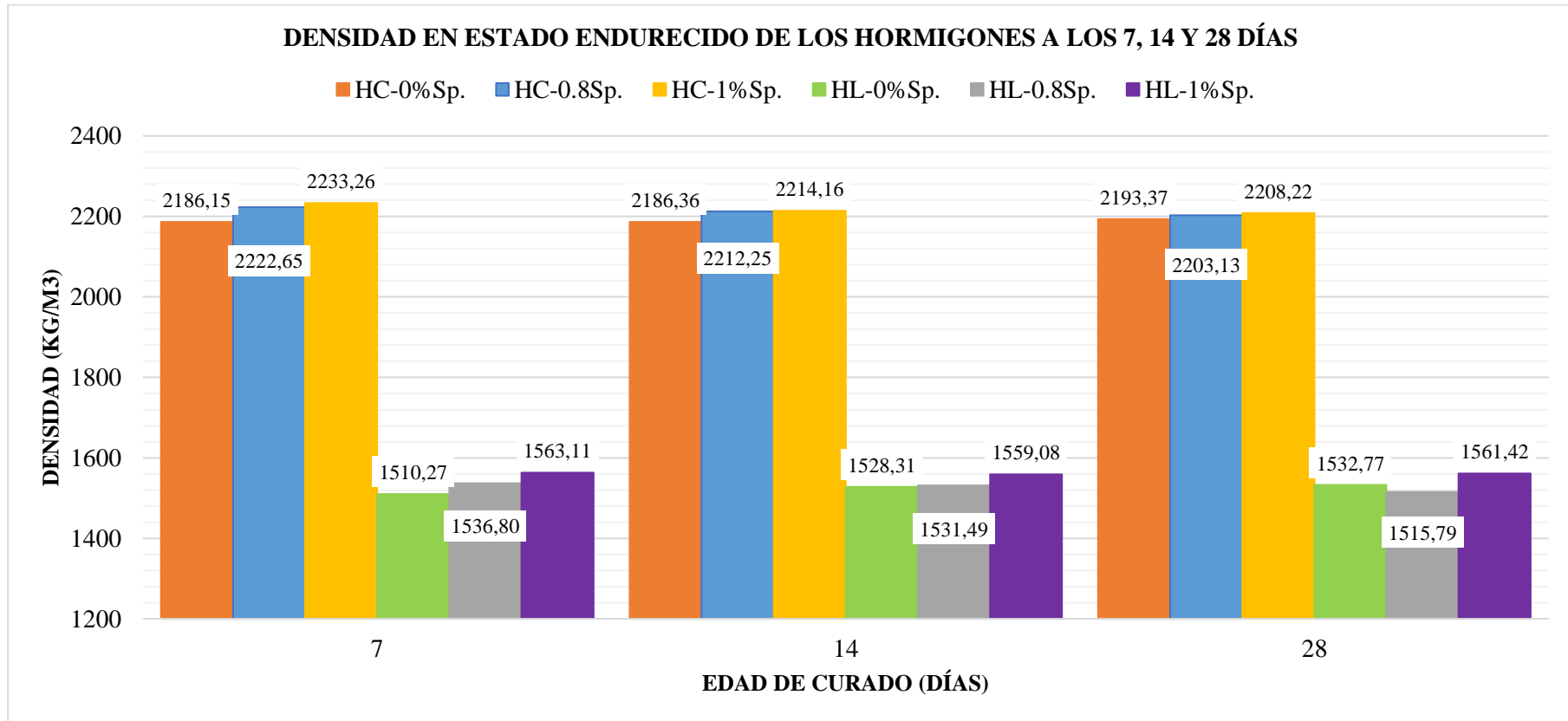


Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.



**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 28, en el hormigón convencional con 1% de superplastificante el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio fue de 81.33% a los 7 días, 33.92% a los 14 días y 19.21% a los 28 días. Mientras que en el hormigón ligero con 1% de superplastificante el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio fue de 61.85% a los 7 días, 18.08% a los 14 días y 1.48% a los 28 días. Denotando que existe un mayor porcentaje de incremento de la resistencia a compresión promedio a los 7 días para el HC-1sp. y HL-1sp. Comparando el hormigón convencional y ligero con 1% de superplastificante se puede notar una reducción en la resistencia del hormigón ligero de 31.49% a los 7 días, 49.14% a los 14 días y 75.18% a los 28 días. En consecuencia, la reducción de resistencia a compresión del hormigón ligero respecto al convencional con 1% de superplastificante es mayor a los 28 días de edad.

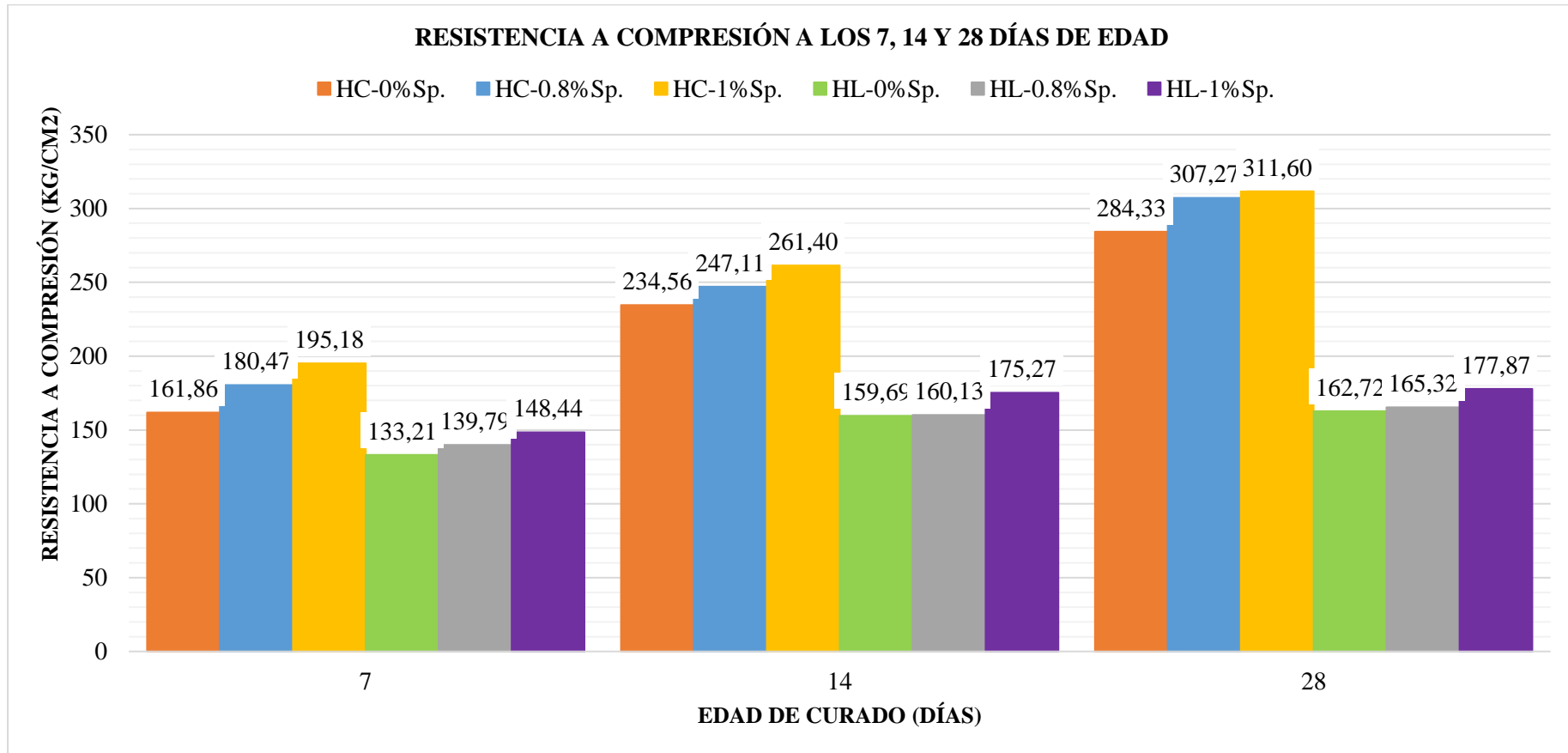
**Gráfico 29.-** Densidad en estado endurecido de todos los hormigones a los 7, 14 y 28 días de edad.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 29, de los resultados las densidades en estado endurecido obtenidas a los 7,14 y 28 días de edad del hormigón convencional son mayores frente al hormigón ligero. Los valores más altos de densidad en estado endurecido a los 28 días para el hormigón convencional pertenece al HC-1%Sp. (2208.22 Kg/m<sup>3</sup>) mientras que para el hormigón ligero es HL-1%Sp. (1561.42 Kg/m<sup>3</sup>). Es así, que la mayor densidad a los 28 días de edad corresponde al hormigón convencional con 1% de aditivo superplastificante, siendo 0.67% más denso que el HC-0%Sp. (2193.37 Kg/m<sup>3</sup>) y 41.42% más denso que el HL-1%Sp. (1561.42 Kg/m<sup>3</sup>).

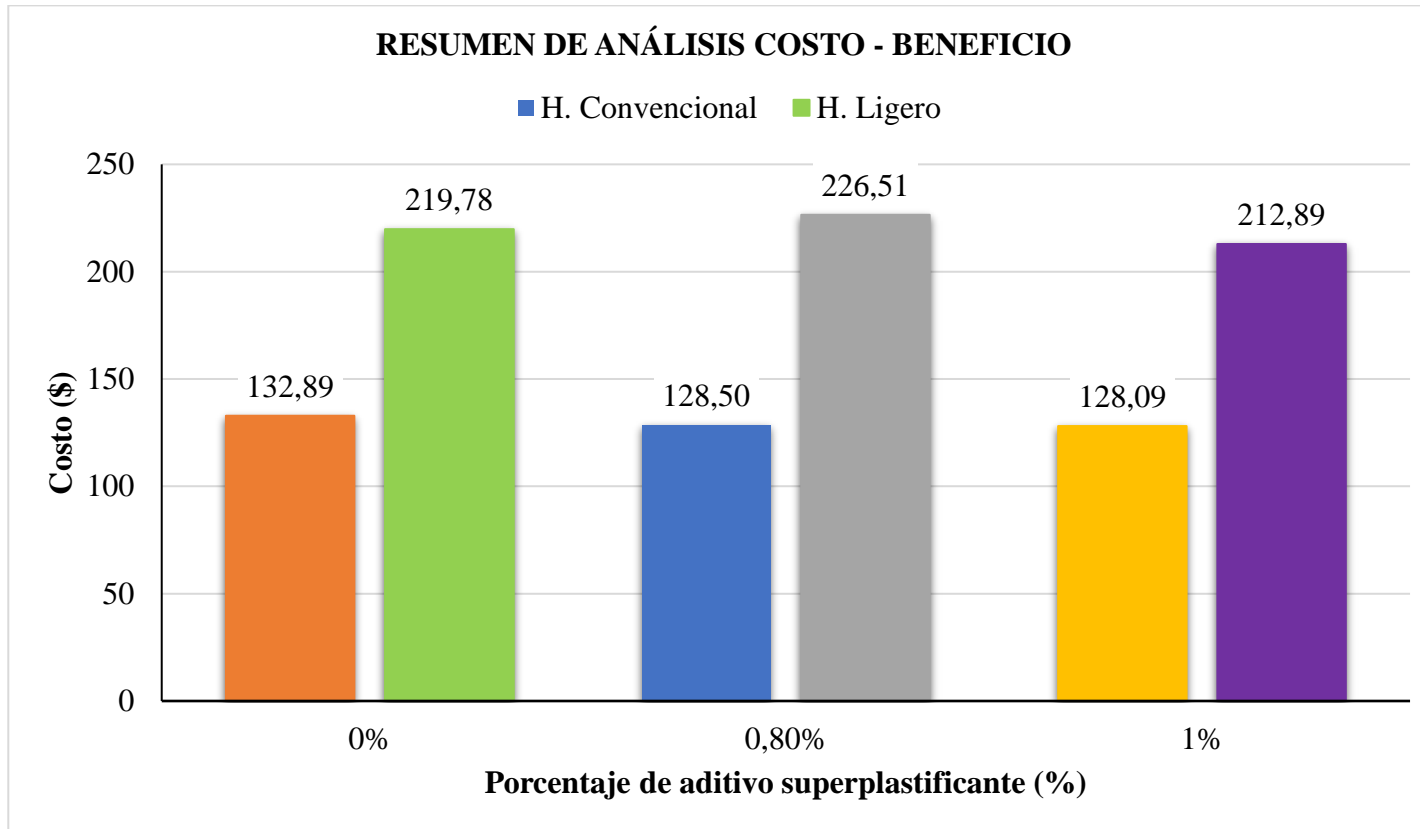
**Gráfico 30.-** Resistencia a compresión de todos los hormigones a los 7, 14 y 28 días de edad.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 30, de los resultados las resistencias a compresión en estado endurecido obtenidas a los 7,14 y 28 días de edad del hormigón convencional son mayores frente al hormigón ligero. Los valores más altos de resistencias a compresión en estado endurecido para el hormigón convencional pertenece al HC-1%Sp. (311.60 Kg/cm<sup>2</sup>) mientras que para el hormigón ligero es HL-1%Sp. (177.87 Kg/cm<sup>2</sup>). Es así, que la mayor resistencia a los 28 días de edad corresponde al hormigón convencional con 1% de aditivo superplastificante, siendo 9.59% más resistente que el HC-0%Sp. (284.33 Kg/cm<sup>2</sup>) y 75.18% más que el HL-1%Sp. (177.87 Kg/cm<sup>2</sup>).

**Gráfico 31.-** Resumen de análisis costo – beneficio de los hormigones.



Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Análisis de resultados.** - De acuerdo al gráfico 31, de los resultados obtenidos del análisis costo-beneficio el costo equivalente para los hormigones convencionales presentan un ahorro económico, en contraste a los valores superiores de costo equivalente que presenta el hormigón ligero con respecto al valor de referencia. Por lo que, los hormigones que presentan mayor beneficio en cuanto a costo y resistencia pertenecen al hormigón convencional con 0.8 y 1% de aditivo superplastificante con costos de \$128.50 y \$128.09 dólares. Determinándose que el porcentaje óptimo es del 1% de aditivo ya que presenta un menor costo y mayor resistencia a la compresión.

### **3.2. Verificación de hipótesis**

#### **Hipótesis**

El uso de agregado grueso de baja densidad (piedra pómez) y aditivo superplastificante influirán en la densidad y resistencia a compresión del hormigón.

#### **Verificación de hipótesis**

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a los especímenes se puede verificar la hipótesis planteada. Demostrándose que tanto la densidad como la resistencia a compresión disminuyen significativamente con el uso de agregado grueso de baja densidad (piedra pómez). Además, se determinó que el uso de aditivo superplastificante aumenta la densidad y resistencia a compresión del hormigón convencional y ligero. Obteniéndose para los porcentajes óptimos de aditivo valores densidad y resistencia a compresión a los 28 días de 2208.22 K/m<sup>3</sup> y 311.60 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, para el HC-1%Sp. Mientras que para el HL-1%Sp. se obtuvo una densidad de 1561.42 Kg/m<sup>3</sup> y resistencia a compresión de 177.87 Kg/cm<sup>2</sup>.



## CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se determinó que, por objeto de comparación se utilizó como método de dosificación el propuesto por el comité de la ACI-211.1 y 211.2 para el hormigón convencional y ligero con una resistencia de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup> con la incorporación del 0, 0.8 y 1% de aditivo superplastificante en cada tipo de hormigón. Alcanzándose para el HC con 0, 0.8 y 1% resistencias medias de compresión a los 28 días de 284.33, 307.27 y 311.60 Kg/cm<sup>2</sup> mismas que superan los 240 Kg/cm<sup>2</sup> de diseño. Sin embargo, para el HL con 0, 0.8 y 1% se obtuvo valores medios de 162.72, 165.32 y 177.87 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente los que resultan ser menores que la resistencia de diseño.
- Se determinó que, respecto a la densidad media en estado endurecido se logró valores de 2193.37, 2203.13 y 2208.22 Kg/m<sup>3</sup> correspondientes al hormigón convencional con 0, 0.8 y 1% de superplastificante que son superiores a 2160 Kg/m<sup>3</sup> cumpliendo con la ACI 318-19. Además, de obtenerse valores de 1532.77, 1515.79 y 1561.42 Kg/m<sup>3</sup> propios al hormigón ligero con 0, 0.8 y 1% de superplastificante que cumple con el rango estipulado por el ACI 318-19 de 1440 a 2160 Kg/m<sup>3</sup>.
- Se determinó que, el empleo de piedra pómez como agregado grueso de bajo peso reduce la densidad y resistencia a compresión media a los 28 días del hormigón sin aditivo en un 43.10% y 74.73% correspondientemente, con respecto al hormigón sin aditivo que contiene ripio o agregado grueso de peso normal.
- Se concluye que, la mayor resistencia media a compresión obtenida corresponde al HC-1%sp. el cual es 22.83% más resistente que  $f'_c$  de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup> en consecuencia, el porcentaje óptimo que garantiza mayor resistencia a compresión del hormigón convencional es del 1% de aditivo superplastificante.
- Se evidenció que, la mayor resistencia media a compresión del hormigón ligero obtenida corresponde al HL-1%sp. el cuál es 34.93% menos resistente que  $f'_c$  de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, es el valor más resistente entre los HL con 0 y 0.8% de superplastificante por lo que el porcentaje óptimo que

garantiza mayor resistencia a compresión del hormigón ligero es del 1% de aditivo superplastificante.

- Se concluye que, la trabajabilidad del hormigón convencional y ligero aumenta con la inclusión de aditivo superplastificante, obteniéndose los mayores valores para cada tipo de hormigón con el porcentaje óptimo del 1% de superplastificante siendo 12.5 y 10.5cm respectivamente, consiguiendo así consistencias entre blanda y fluida según EHE-08.
- Se determinó mediante el análisis costo- beneficio el costo equivalente del hormigón convencional con el 0.8 y 1% de aditivo superplastificante de \$128.50 y \$128.09 dólares observándose un ahorro por m<sup>3</sup> de 3.30% (\$4.39 dólares) y 3.61% (\$4.80 dólares) respectivamente en función al hormigón de referencia (\$132.89 dólares), siendo la más favorable la de 1%, sin embargo, la diferencia en costo y resistencia con el 0.8% de superplastificante es minúscula.
- Se estableció mediante el análisis costo-beneficio el costo equivalente del hormigón ligero con 0, 0.8 y 1% de aditivo de \$219.78, \$226.51 y \$212.89 dólares observándose un costo superior por m<sup>3</sup> del 65.39% (\$86.89 dólares), 70.45% (\$93.62 dólares) y 60.20% (\$80 dólares) respectivamente en función al hormigón de referencia (\$132.89 dólares). Evidenciando que con el uso de piedra pómez como agregado grueso y aditivo superplastificante en los porcentajes propuestos no ocurre un ahorro económico, ni resistencias superiores a la de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Se determinó que, el HC-1%sp. presenta una resistencia a compresión a los 28 días, densidad en estado endurecido y trabajabilidad de 311.60 Kg/cm<sup>2</sup>, 2208.22 Kg/m<sup>3</sup> y 12.5cm respectivamente, con un precio por metro cúbico de \$128.09 dólares, en comparación al HL-1%sp. con 177.87 Kg/cm<sup>2</sup>, 1561.42 Kg/m<sup>3</sup> y 10.5cm, con un precio por metro cúbico de \$212.89. Por tanto, se demuestra que las propiedades de resistencia a compresión y densidad del hormigón convencional son superiores que las del hormigón ligero con piedra pómez procedente del sector Latacunga.
- Se concluye que, el hormigón elaborado con árido grueso de baja densidad (piedra pómez) es idóneo para obras de tipo secundarias tales como: aceras, bordillos, losas de cubierta. Así como también en hormigones de limpieza,

relleno, donde no soporten cargas estructurales y se requiera reducir el peso propio de los distintos elementos.

- Se evidenció que la aplicación del aditivo superplastificante es eficiente, ya que ayuda a incrementar la resistencia del hormigón a todas las edades de curado, además de aportar en la trabajabilidad del hormigón sin segregación al momento de usarlo.

## **4.2. Recomendaciones**

### **Ensayos a los componentes del Hormigón**

- Previo a realizar los ensayos en los componentes del hormigón precautelar la integridad de los mismos en los procesos de extracción, transporte y almacenamiento con el objeto de no alterar sus propiedades naturales.
- Verificar que los agregados finos y gruesos estén libres de impurezas, vegetación, materia orgánica, entre otras antes de ser utilizado.
- Revisar que los equipos e instrumentos a utilizarse para los distintos ensayos en los componentes de los hormigones, hormigón fresco y endurecido se encuentren en las condiciones adecuadas para evitar errores en la toma de datos.
- Humedecer la piedra pómez por un período mayor a las 24 horas para los ensayos de densidad real y capacidad de absorción debido a la alta porosidad que presenta el agregado.

### **Elaboración de especímenes.**

- Elaborar el hormigón ligero con la piedra pómez en estado saturado superficie seca para evitar la pérdida del agua de mezcla.
- No modificar la relación agua/cemento de diseño para evitar la pérdida de resistencia a compresión del hormigón.
- Tener cuidado al colocar la cantidad de aditivo superplastificante, ya que si se aumenta la cantidad de este aumenta considerablemente la trabajabilidad y disminuye la resistencia a compresión del hormigón.
- Realizar el proceso de compactación del hormigón por vibración para no fracturar el agregado grueso de baja densidad.

### **Metodología**

- Se recomienda la investigación del hormigón ligero con piedra pómez de diferentes lugares de extracción.
- Se recomienda utilizar la Metodología de Dosificación de las Dos fases para hormigones ligeros de áridos ligeros.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] Ángel Francisco Nistal Cordero, María Jesús Retana Maqueda y Teresa Ruiz Abrio, «EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES INDICATIVOS DE SU RESISTENCIA.» *TECNOLOGÍA y DESARROLLO*, vol. X, pp. 3-16, 2012.
- [2] American Concrete Institute, «Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14),» ACI, USA, 2015.
- [3] L. Valdez, G. Suárez y G. Proaño, «HORMIGONES LIVIANOS,» *ESPOL*, pp. 1-8.
- [4] Hariyadia y T. Hiroki, «Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate.,» *Procedia Engineering*, vol. 125, pp. 732-738, 2015.
- [5] A. M. Rashad, «A short Manual on natural pumice as a lightweight aggregate.,» *Journal of Building Engineering*, vol. 25, 2019.
- [6] N. Kabay y F. Aköz, «Effect of prewetting methods on some fresh and hardened properties of concrete with pumice aggregate,» *Cement & Concrete Composites*, vol. 34, 2012.
- [7] J. d. B. A. R. D. P. D. Matias, «Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse,» *Construction and Building Materials*, vol. 44, pp. 101-109, 2013.
- [8] T.-s. H. G. Z. X. W. Y. H. Chen Shi, «Effects of superplasticizers on carbonation resistance of concrete.,» *Construction and Building Materials*, vol. 108, pp. 48-55, 2016.

- [9] ENCONCRETO, «Influencia de áridos de baja densidad en la resistencia a compresión de hormigones ligeros estructurales para elaboración de maceta ornamental.,» Ambato, 2020.
- [10] P. C. S. Andres Paul Martínez, «FABRICACIÓN DE HORMIGONES LIVIANOS CON MATERIALES VOLCANOCLÁSTICOS (LAPILLI) Y SU INFLUENCIA EN LA REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS,» *CIENCIA*, Vols. %1 de %217, 21-40, nº 1, p. 20, 2015.
- [11] P. J. JARRIN, «SCRIBD,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/presentation/269178644/Piedra-Pomez>. [Último acceso: 10 2020].
- [12] A. D. L. TACURY, «ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS,» Samborondon, 2015.
- [13] F. P. S. R. S. T. M. V. A. Yépez, «Aditivo superplastificante,» de *Comportamiento de cementos ecuatorianos con humo de sílice y aditivo súper plastificante*, Quito, USFQ, 2015.
- [14] F. A. H. MAZÓN, “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PESO Y RESISTENCIA DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON UN HORMIGÓN ALIVIANADO UTILIZANDO ELCUESCO DE LA PALMA AFRICANA COMO MATERIAL ALTERNATIVO DEL AGREGADO GRUESO”, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [15] NTE INEN 694, «HORMIGÓN Y ÁRIDOS PARA ELABORAR HORMIGÓN. TERMINOLOGÍA.,» 2010.
- [16] F. R. Q. ANDRÉS y C. H. R. JOHAN, «DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN,» BOGOTÁ D.C., 2014.

- [17] Instituto Americano del Concreto, «Concreto de peso normal,» de *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, ACI 318S-19, 2019, p. 37.
- [18] Instituto Americano del Concreto, «Concreto estructural,» de *Especificaciones para Concreto Estructural*, ACI 301S-10, 2010, p. 6.
- [19] Instituto Chileno del Cemento y Hormigón, «Cemento,» de *Compendio de Tecnología del Hormigón*, Santiago de Chile, 1992, p. 9.
- [20] M. S. Mamlouk y J. P. Zaniewski, «5.4.- Usos de los Áridos,» de *Materiales para Ingeniería Civil*, Madrid, PEARSON, Prentice Hall, 2009, pp. 167-171.
- [21] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, «AGREGADO FINO, Características Generales,» de *Especificación estándar para áridos de hormigón*, ASTM C 33, 2018, pp. 3-6.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «4.20 Árido fino,» de *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*, Quito-Ecuador, INEN 1762, 2015, p. 2.
- [23] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, «AGREGADO GRUESO. Características generales.,» de *Especificación estándar para áridos de hormigón*, ASTM C33, 2018, pp. 6-8.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «4.21 Árido grueso.,» de *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*, Quito-Ecuador, INEN 1762, 2015, p. 2.
- [25] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «3.1.8.3 Árido de densidad normal.,» de *Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón. Terminología.*, Quito-Ecuador, INEN 694, 2010, p. 2.
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «3.1.8.2 Árido de baja densidad.,» de *Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón. Terminología.*, Quito-Ecuador, INEN 694, 2010, p. 2.

- [27] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Requisitos específicos,» de *Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.*, Quito-Ecuador, INEN 2617, 2012, p. 2.
- [28] C. D. M. Laica, “EL CURADO DEL HORMIGÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS FINALES”, Ambato-Ecuador: UTA, 2013, p. 10.
- [29] Instituto Americano del Concreto, «Concreto liviano,» de *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, ACI 318S-19, 2014, p. 38.
- [30] Instituto Americano del Concreto, «5.2 Resistencia a Compresión,» de *Guía de Concreto Ligero Estructural*, ACI 213R-14, 2014, p. 11.
- [31] Servicio Geológico de los Estados Unidos, «Mineral Commodity summaries 2021,» USGS, Washington DC, 2021.
- [32] PRODUCCIÓN MINERA. RESERVAS Y RECURSOS- ESPAÑA, «PIEDRA PÓMEZ,» *Minerals Yearbook*, Las Palmas del Gran Canaria, 2003.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «4.2 Aditivo.,» de *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*, Quito-Ecuador, INEN 1762, 2015, p. 1.
- [34] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, «Resumen del Método de Ensayo,» de *Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos Finos y Gruesos*, ASTM C 136, p. 1.
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «4.66 Módulo de finura del árido.,» de *Hormigón. Definiciones y Terminología*, Quito, INEN 1762, 2015, p. 5.
- [36] Facultad de Estudios a Distancia, «Distribución granulométrica, Tamaño máximo.,» Universidad Militar Nueva Granada, 2021. [En línea]. [Último acceso: 2021].
- [37] G. E. C. J. VIVIAN MARCELA BARRIOS MUÑOZ, «Tamaño Máximo Nominal,» de *VARIACIONES DEL ADITIVO RETARDANTE EN LA*



*RESISTENCIA MECÁNICA Y MANEJABILIDAD DE LOS CONCRETOS, SEGUN EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO PÉTREO CALIZO*, Cartagena, UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, 2020, p. 13.

- [38] Instituto Americano del Concreto, «4.2.2.3 Tamaño del agregado grueso,» de *Especificaciones para Concreto Estructural*, ACI 301S-10, 2010, p. 24.
- [39] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS,» de *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.* , Quito, INEN 858, 2010, p. 1.
- [40] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «5.5 Preparación de la muestra de ensayo.,» de *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.* , Quito, INEN 858, 2010, p. 4.
- [41] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, «1. Alcances,» de *Método de Ensayo Normalizado para Determinar Método de Ensayo Normalizado para Determinar Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y la Absorción de los Aridos finos*, ASTM C 128, p. 1.
- [42] L. O. P. Rea y R. G. Chacaguasay, «Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (gravedad específica) y absorción de los áridos.,» de *DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD ÓPTIMA DE POLÍMERO ELÁSTICO PARA UN HORMIGÓN MODIFICADO DE 28 MPa Y SU INFLUENCIA EN ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES* , Riobamba-Ecuador, Universidad Nacional de Chimborazo, 2016, p. 35.
- [43] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «5. MÉTODO DE ENSAYO,» de *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.* , Quito, INEN 856, 2012, p. 3.

- [44] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «5. MÉTODO DE ENSAYO,» de *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.*, Quito, INEN 857, 2010, p. 3.
- [45] Instituto Americano del Concreto, «APPENDIX A □ DETERMINATION OF SPECIFIC GRAVITY FACTORS OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHT AGGREGATE,» de *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-98)*, ACI 211.2, p. 16.
- [46] Sociedad americana para pruebas y materiales., «4. Resumen del Método de Ensayo,» de *Método de Prueba Estándar para la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y absorción de agregado grueso*, ASTM C 127, p. 4.
- [47] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad.,» de *Densidad del Cemento Hidráulico, resumen.*, Quito, NTE INEN 156, 2009, p. 3.
- [48] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, «Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement,» de *3. Apparatus*, ASTM C 188, 2003, p. 2.
- [49] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos para Hormigón. Determinación del contenido total de Humedad,» de *Método de Ensayo, resumen*, Quito, NTE INEN 862, 2011, p. 2.
- [50] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, «Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural,» de *Resistencia a la Compresión (Método de Ensayo C 39/C 39M)*, ASTM C 330, 2005, p. 4.
- [51] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «3.1.8.1 Árido de alta densidad.,» de *Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón. Terminología.*, Quito-Ecuador, INEN 694, 2010, p. 2

## Anexos

### A1. Resultados ensayos a los componentes del Hormigón

**Tabla 66.- Granulometría del Agregado Grueso - Ripio TMN=19mm.**

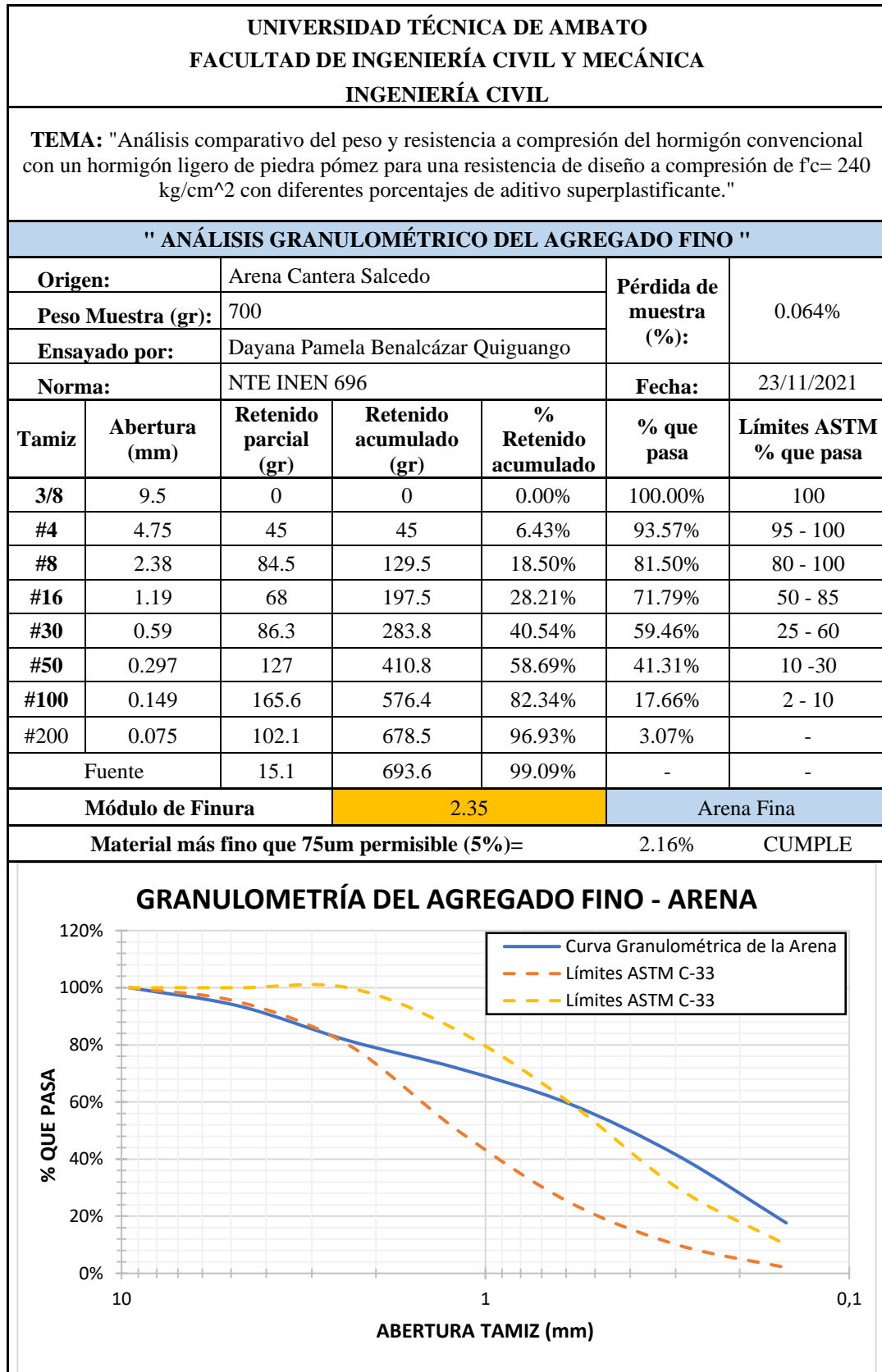
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |               |                                    |                         |                      |                         |                         |
|--|---------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |               |                                    |                         |                      |                         |                         |
| " ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL RIPIO "  |               |                                    |                         |                      |                         |                         |
| Origen:  |               | Ripio - Minas Ambato               |                         |                      | Pérdida de muestra (%): | 0.07%                   |
| Peso Muestra (gr):   |               | 7000                               |                         |                      |                         |                         |
| Ensayado por:  |               | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango |                         |                      | Fecha:                  | 24/11/2021              |
| Norma:   |               | NTE INEN 696                       |                         |                      | TNM:                    | 3/4"                    |
| Tamiz  | Abertura (mm) | Retenido parcial (gr)              | Retenido acumulado (gr) | % Retenido acumulado | % que pasa              | Límites ASTM % que pasa |
| 1"   | 25.4          | 0                                  | 0                       | 0.00%                | 100.00%                 | 100                     |
| 3/4"   | 19.05         | 160                                | 160                     | 2.29%                | 97.71%                  | 90 - 100                |
| 1/2"   | 12.7          | 1466                               | 1626                    | 23.23%               | 76.77%                  | -                       |
| 3/8"   | 9.53          | 3944                               | 5570                    | 79.57%               | 20.43%                  | 20 - 55                 |
| #4   | 4.75          | 1328                               | 6898                    | 98.54%               | 1.46%                   | 0 - 10                  |
| #8   | 2.38          | 52                                 | 6950                    | 99.29%               | 0.71%                   | 0 - 5                   |
| Fuente   |               | 43                                 | 6993                    | 99.90%               | 0.10%                   | -                       |
| Material más fino que 75um permisible (1%)=  |               |                                    |                         |                      | 0.61%                   | CUMPLE                  |

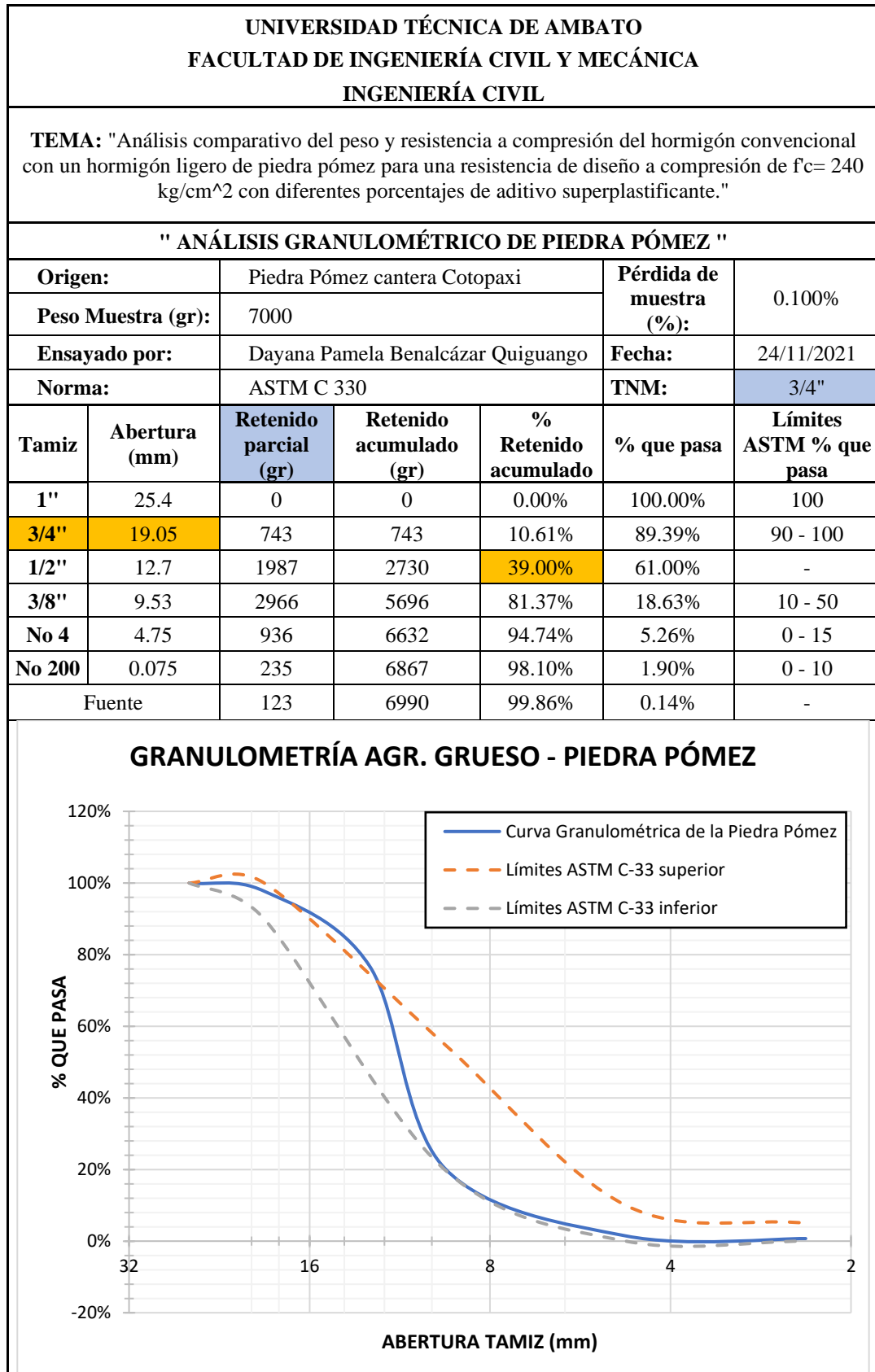
#### GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO - RIPIO

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 67.- Granulometría del Agregado Fino - Arena.**



**Tabla 68.-** Granulometría del Agregado Grueso - Piedra Pómez TMN=19mm.



**Tabla 69.-** Densidad Aparente suelta de los agregados.

| <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>INGENIERÍA CIVIL</b>   |  |                               |  |  |
|---|--|-------------------------------|--|--|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                               |  |  |
| <b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO</b>   |  |                               |  |  |
| <b>Origen:</b>  | Minas Salcedo, Ambato y Latacunga.         |                               | <b>Masa del Recipiente (Kg)</b>                    | 9.8  |
| <b>Peso Muestra (gr):</b>   | 10000                                      |                               |  |  |
| <b>Ensayado por:</b>  | Dayana Pamela Benalcázar                   |                               | <b>Volumen del Recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>     | 20.22  |
| <b>Norma:</b>   | NTE INEN 858                               |                               |  |  |
| <b>Agregado</b>   | <b>Masa del Recipiente + Agregado (Kg)</b> | <b>Masa del Agregado (Kg)</b> | <b>Densidad aparente suelta (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Densidad Aparente Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>ARENA</b>  | 32.8                                       | 23                            | 1137.49  | 1135.01  |
|   | 32.7                                       | 22.9                          | 1132.54  |  |
| <b>RIPIO</b>  | 37.7                                       | 27.9                          | 1379.82  | 1389.71  |
|   | 38.1                                       | 28.3                          | 1399.60  |  |
| <b>PÓMEZ</b>  | 20.2                                       | 10.4                          | 514.34   | 519.29   |
|   | 20.4                                       | 10.6                          | 524.23   |  |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 70.-** Densidad Aparente compactada de los agregados.

| <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>INGENIERÍA CIVIL</b>   |  |                               |  |  |
|---|--|-------------------------------|--|--|
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                               |  |  |
| <b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO</b>   |  |                               |  |  |
| <b>Origen:</b>  | Minas Salcedo, Ambato y Latacunga.         |                               | <b>Masa del Recipiente (Kg)</b>                    | 9.8  |
| <b>Peso Muestra (gr):</b>   | 10000                                      |                               |  |  |
| <b>Ensayado por:</b>  | Dayana Pamela Benalcázar                   |                               | <b>Volumen del Recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>     | 20.22  |
| <b>Norma:</b>   | NTE INEN 858                               |                               |  |  |
| <b>Agregado</b>   | <b>Masa del Recipiente + Agregado (Kg)</b> | <b>Masa del Agregado (Kg)</b> | <b>Densidad aparente suelta (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Densidad Aparente Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>ARENA</b>  | 35.6                                       | 25.8                          | 1275.96  | 1263.60  |
|   | 35.1                                       | 25.3                          | 1251.24  |  |
| <b>RIPIO</b>  | 39.5                                       | 29.7                          | 1468.84  | 1476.26  |
|   | 39.8                                       | 30                            | 1483.68  |  |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 71.-** Densidad real y capacidad de absorción del Ripio.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  |   |                     |            |        |
|--|---|---------------------|------------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |   |                     |            |        |
| INGENIERÍA CIVIL   |   |                     |            |        |
| <p><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c= 240</math> kg/cm<sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |   |                     |            |        |
| DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO   |   |                     |            |        |
| <b>ORIGEN</b>  | Minas Ambato                                      |                     |            |        |
| <b>ENSAYADO POR:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar                          | <b>FECHA:</b>       | 24/11/2021 |        |
| <b>NORMA:</b>  | NTE INEN 857                                      |                     |            |        |
| CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO  |   |                     |            |        |
| DATOS  | DESCRIPCIÓN                                       | UNIDAD              | VALOR      |        |
| <b>M1</b>  | Masa de la canastilla en el aire                  | gr.                 | 1175.00    |        |
| <b>M2</b>  | Masa de la canastilla en el agua                  | gr.                 | 1016.00    |        |
| <b>M3</b>  | Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el aire | gr.                 | 5172.00    |        |
| <b>M4</b>  | Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el agua | gr.                 | 3504.00    |        |
| <b>DA</b>  | Densidad Real del agua                            | gr./cm <sup>3</sup> | 1.00       |        |
| <b>M5 = M3 - M1</b>  | Masa de la muestra S.S.S. en el aire              | gr.                 | 3997.00    |        |
| <b>M6= M4 - M2</b>   | Masa de la muestra S.S.S. en el agua              | gr.                 | 2488.00    |        |
| <b>VR = (M5 -M6) / DA</b>  | Volumen Real de la muestra                        | cm <sup>3</sup>     | 1509.00    |        |
| <b>DR = M5 / VR</b>  | <b>Densidad Real del Ripio</b>                    | -                   | 2.65       |        |
| CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO   |   |                     |            |        |
| <b>M7</b>  | Masa del Recipiente                               | gr.                 | 32.50      | 32.50  |
| <b>M8</b>  | Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.              | gr.                 | 204.20     | 206.80 |
| <b>M9 = M8 - M7</b>  | Masa de la Muestra S.S.S.                         | gr.                 | 171.70     | 174.30 |
| <b>M10</b>   | Masa del Recipiente + Muestra Seca                | gr.                 | 201.50     | 203.80 |
| <b>M11 = M10 - M7</b>  | Masa de la Muestra Seca                           | gr.                 | 169.00     | 171.30 |
| <b>CA= ((M9 - M11) / M11)*100</b>  | <b>Capacidad de Absorción</b>                     | %                   | 1.60       | 1.75   |
| <b>CAP= (CA1+CA2) /2</b>   | <b>Capacidad de Absorción Promedio</b>            | %                   | 1.67       |        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.



**Tabla 72.-** Densidad real y capacidad de absorción de la Arena.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |   |                     |              |        |
|---|---|---------------------|--------------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |   |                     |              |        |
| INGENIERÍA CIVIL  |   |                     |              |        |
| <p><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240</math> kg/cm<sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |   |                     |              |        |
| <b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>   |   |                     |              |        |
| <b>ORIGEN</b>   | Mina Salcedo                                  |                     |              |        |
| <b>ENSAYADO POR:</b>  | Dayana Pamela Benalcázar                      | <b>FECHA:</b>       | 24/11/2021   |        |
| <b>NORMA:</b>   | NTE INEN 856                                  |                     |              |        |
| <b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA</b>  |   |                     |              |        |
| <b>DATOS</b>  | <b>DESCRIPCIÓN</b>                            | <b>UNIDAD</b>       | <b>VALOR</b> |        |
| <b>M1</b>   | Masa del Picnómetro                           | gr.                 | 152.20       |        |
| <b>M2</b>   | Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S.          | gr.                 | 352.20       |        |
| <b>M3</b>   | Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S. + Agua   | gr.                 | 766.00       |        |
| <b>M4 = M3 - M2</b>   | Masa Agua Añadida                             | gr.                 | 413.80       |        |
| <b>M5</b>   | Masa Picnómetro + 500 cm <sup>3</sup> de Agua | gr.                 | 650.10       |        |
| <b>M6 = M5 - M1</b>   | Masa de 500 cm <sup>3</sup> de agua           | gr.                 | 497.90       |        |
| <b>DA = M6 / 500 cm<sup>3</sup></b>   | Densidad del Agua                             | gr./cm <sup>3</sup> | 0.996        |        |
| <b>M7 = M6 - M4</b>   | Masa del agua desalojada por la Muestra       | gr.                 | 84.10        |        |
| <b>M<sub>sss</sub> = M2 - M1</b>  | Masa del Agregado                             | gr.                 | 200.00       |        |
| <b>V<sub>sss</sub> = M7 / DA</b>  | Volumen de agua desalojada                    | cm <sup>3</sup>     | 84.45        |        |
| <b>DRA = M<sub>sss</sub> / V<sub>sss</sub></b>  | <b>Densidad Real de la Arena</b>              | -                   | 2.37         |        |
| <b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA</b>   |   |                     |              |        |
| <b>M7</b>   | Masa del Recipiente                           | gr.                 | 30.30        | 33.20  |
| <b>M8</b>   | Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.          | gr.                 | 174.20       | 170.60 |
| <b>M9 = M8 - M7</b>   | Masa de la Muestra S.S.S.                     | gr.                 | 143.90       | 137.40 |
| <b>M10</b>  | Masa del Recipiente + Muestra Seca            | gr.                 | 172.40       | 168.90 |
| <b>M11 = M10 - M7</b>   | Masa de la Muestra Seca                       | gr.                 | 142.10       | 135.70 |
| <b>CA = ((M9 - M11) / M11)*100</b>  | <b>Capacidad de Absorción</b>                 | %                   | 1.27         | 1.25   |
| <b>CAP = (CA1 + CA2) / 2</b>  | <b>Capacidad de Absorción Promedio</b>        | %                   | 1.26         |        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 73.- Densidad real y capacidad de absorción de la Piedra Pómez.**

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |   |                     |            |        |
|---|---|---------------------|------------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |   |                     |            |        |
| INGENIERÍA CIVIL  |   |                     |            |        |
| <p><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f_c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |   |                     |            |        |
| DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO  |   |                     |            |        |
| <b>ORIGEN</b>   | Mina Cotopaxi                                     |                     |            |        |
| <b>ENSAYADO POR:</b>  | Dayana Pamela Benalcázar                          | <b>FECHA:</b>       | 24/11/2021 |        |
| <b>NORMA:</b>   | NTE INEN 857                                      |                     |            |        |
| CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL PIEDRA PÓMEZ  |   |                     |            |        |
| DATOS   | DESCRIPCIÓN                                       | UNIDAD              | VALOR      |        |
| <b>M1</b>   | Masa de la canastilla en el aire                  | gr.                 | 1172.00    |        |
| <b>M2</b>   | Masa de la canastilla en el agua                  | gr.                 | 1024.00    |        |
| <b>M3</b>   | Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el aire | gr.                 | 4169.00    |        |
| <b>M4</b>   | Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el agua | gr.                 | 1351.00    |        |
| <b>DA</b>   | Densidad Real del agua                            | gr./cm <sup>3</sup> | 1.00       |        |
| <b>M5 = M3 - M1</b>   | Masa de la muestra S.S.S. en el aire              | gr.                 | 2997.00    |        |
| <b>M6 = M4 - M2</b>   | Masa de la muestra S.S.S. en el agua              | gr.                 | 327.00     |        |
| <b>VR = (M5 - M6) / DA</b>  | Volumen Real de la muestra                        | cm <sup>3</sup>     | 2670.00    |        |
| <b>DR = M5 / VR</b>   | <b>Densidad Real de la Piedra Pómez</b>           | -                   | 1.12       |        |
| CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PIEDRA PÓMEZ   |   |                     |            |        |
| <b>M7</b>   | Masa del Recipiente                               | gr.                 | 31.50      | 30.70  |
| <b>M8</b>   | Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.              | gr.                 | 101.30     | 115.40 |
| <b>M9 = M8 - M7</b>   | Masa de la Muestra S.S.S.                         | gr.                 | 69.80      | 84.70  |
| <b>M10</b>  | Masa del Recipiente + Muestra Seca                | gr.                 | 89.20      | 102.50 |
| <b>M11 = M10 - M7</b>   | Masa de la Muestra Seca                           | gr.                 | 57.70      | 71.80  |
| <b>CA = ((M9 - M11) / M11)*100</b>  | <b>Capacidad de Absorción</b>                     | %                   | 20.97      | 17.97  |
| <b>CAP = ( CA1 + CA2) / 2</b>   | <b>Capacidad de Absorción Promedio</b>            | %                   | 19.47      |        |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 74.-** Contenido de Humedad de los agregados.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  |  |               |            |         |
|--|--|---------------|------------|---------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |  |               |            |         |
| INGENIERÍA CIVIL   |  |               |            |         |
| <b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |               |            |         |
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD   |  |               |            |         |
| <b>ORIGEN</b>  | Minas Ambato, Latacunga y Salcedo respectivamente. |               |            |         |
| <b>ENSAYADO POR:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar                           | <b>FECHA:</b> | 24/11/2021 |         |
| <b>NORMA:</b>  | NTE INEN 862                                       |               |            |         |
| RIPIO  |  |               |            |         |
| Nomenclatura   | Nombre   | Unidad        | Valores    |         |
| P1   | Peso del Recipiente                                | gr.           | 257.00     | 263.60  |
| P2   | Peso del recipiente + Agreg. Grueso Húmedo         | gr.           | 1315.00    | 1310.60 |
| P3   | Peso del Recipiente + Agreg. Grueso Seco           | gr.           | 1295.60    | 1292.00 |
| P4 = P2 - P3   | Peso del Agua                                      | gr.           | 19.40      | 18.60   |
| P5 = P3 - P1   | Peso del Agreg. Grueso Seco                        | gr.           | 1038.60    | 1028.40 |
| CH = P4 / P5   | Contenido de Humedad                               | %             | 0.02       | 0.02    |
| <b>CHPROM</b>  | <b>Contenido de Humedad Promedio W%</b>            | %             | 1.84       |         |
| PIEDRA PÓMEZ   |  |               |            |         |
| Nomenclatura   | Nombre   | Unidad        | Valores    |         |
| P1   | Peso del Recipiente                                | gr.           | 256.40     | 258.30  |
| P2   | Peso del recipiente + Agreg. Grueso Húmedo S.S.S.  | gr.           | 595.60     | 555.20  |
| P3   | Peso del Recipiente + Agreg. Grueso Seco           | gr.           | 542.30     | 508.40  |
| P4 = P2 - P3   | Peso del Agua                                      | gr.           | 53.30      | 46.80   |
| P5 = P3 - P1   | Peso del Agreg. Grueso Seco                        | gr.           | 285.90     | 250.10  |
| CH = P4 / P5   | Contenido de Humedad                               | %             | 0.19       | 0.19    |
| <b>CHPROM</b>  | <b>Contenido de Humedad Promedio W%</b>            | %             | 18.68      |         |
| ARENA  |  |               |            |         |
| Nomenclatura   | Nombre   | Unidad        | Valores    |         |
| P1   | Peso del Recipiente                                | gr.           | 33.40      | 31.10   |
| P2   | Peso del recipiente + Agreg. Fino Húmedo S.S.S.    | gr.           | 206.40     | 216.00  |
| P3   | Peso del Recipiente + Agreg. Fino Seco             | gr.           | 190.40     | 198.30  |
| P4 = P2 - P3   | Peso del Agua                                      | gr.           | 16.00      | 17.70   |
| P5 = P3 - P1   | Peso del Agreg. Fino Seco                          | gr.           | 157.00     | 167.20  |
| CH = P4 / P5   | Contenido de Humedad                               | %             | 0.10       | 0.11    |
| <b>CHPROM</b>  | <b>Contenido de Humedad Promedio W%</b>            | %             | 10.39      |         |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

**Tabla 75.- Densidad real del Cemento.**

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>INGENIERÍA CIVIL   |  |                     |            |          |
|--|--|---------------------|------------|----------|
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |  |                     |            |          |
| DENSIDAD REAL DEL CEMENTO  |  |                     |            |          |
| ORIGEN   | CEMENTO TIPO GU  |                     |            |          |
| ENSAYADO POR:  | Dayana Pamela Benalcázar                                     | FECHA:              | 24/11/2021 |          |
| NORMA:   | NTE INEN 156   |                     |            |          |
| DATOS  | DESCRIPCIÓN  | UNIDAD              | ENSAYO 1   | ENSAYO 2 |
| M1   | Masa del Picnómetro  | gr.                 | 152.00     | 145.40   |
| M2   | Masa del Picnómetro + Cemento                                | gr.                 | 216.00     | 209.40   |
| M3   | Masa del Picnómetro + Cemento + Gasolina                     | gr.                 | 568.00     | 561.30   |
| M4 = M3 - M2   | Masa Gasolina Añadida  | gr.                 | 352.00     | 351.90   |
| M5   | Masa Picnómetro + 500 cm <sup>3</sup> de Gasolina            | gr.                 | 521.80     | 514.80   |
| M6 = M5 - M1   | Masa de 500 cm <sup>3</sup> de Gasolina                      | gr.                 | 369.80     | 369.40   |
| DG = M6 / 500 cm <sup>3</sup>  | Densidad de la Gasolina                                      | gr./cm <sup>3</sup> | 0.740      | 0.739    |
| M7 = M6 - M4   | Masa de la Gasolina desalojada por la Muestra                | gr.                 | 17.80      | 17.50    |
| MC = M2 - M1   | Masa del Cemento   | gr.                 | 64.00      | 64.00    |
| VG = VC = M7 / DG  | Volumen de Gasolina desalojada = Volumen del Cemento añadido | cm <sup>3</sup>     | 24.07      | 23.69    |
| DRC = MC / VC  | <b>Densidad Real del Cemento</b>                             | -                   | 2.66       | 2.70     |
| DPC  | <b>Densidad Promedio</b>                                     | -                   | 2.68       |          |

Fuente: Trabajo Experimental – Dayana Benalcázar.

## A2. Dosificación del hormigón convencional – Método ACI 211.1

**Tabla 76.-** Resumen dosificación para  $f'c$  de 240 kg/cm<sup>2</sup> para hormigón convencional.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |   |                    |   |   |                    |  |
|---|---|--------------------|---|---|--------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |   |                    |   |   |                    |  |
| INGENIERÍA CIVIL  |   |                    |   |   |                    |  |
| <p><b>TEMA:</b> "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de <math>f'c = 240</math> kg/cm<sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante."</p> |   |                    |   |   |                    |  |
| DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F'C=240  |   |                    |   |   |                    |  |
| <b>MÉTODO</b>   | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto de peso normal y masivo. |                    |   |   |                    |  |
| <b>REALIZADO:</b>   | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango  |                    |   | <b>FECHA:</b>   | 30/11/2021         |  |
| MÉTODO ACI 211.1  |   |                    |   |   |                    |  |
| ESPECIFICACIONES DE DISEÑO  |   |                    | RESISTENCIA DE DISEÑO                                       |   |                    |  |
| <b>F'c</b>  | 240.00  | Kg/cm <sup>2</sup> | <b>f'cr</b>   | $f'cr = f'c + 83$                                       |                    |  |
| <b>AST</b>  | 8.00  | cm                 | <b>f'cr</b>   | 323.00  | Kg/cm <sup>2</sup> |  |
| <b>TMN</b>  | 19.00   | mm                 | CÁLCULOS  |   |                    |  |
| RESULTADOS DE ENSAYOS   |   |                    | <b>W</b>  | 200.00  | Lt/m <sup>3</sup>  |  |
| <b>MF</b>   | 2.35  | -                  | <b>w/c</b>  | 0.50  | -                  |  |
| <b>DRC</b>  | 2.68  | -                  | <b>C</b>  | 400.00  | Kg/m <sup>3</sup>  |  |
| <b>DRA</b>  | 2.37  | -                  | <b>Factor de tabla</b>                                      | 0.66  | m <sup>3</sup>     |  |
| <b>DRR</b>  | 2.65  | -                  | <b>R</b>  | 974.33  | Kg/m <sup>3</sup>  |  |
| <b>DACR</b>   | 1476.26   | Kg/m <sup>3</sup>  | <b>VC</b>   | 149.25  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| <b>CAA</b>  | 1.26  | %                  | <b>VW</b>   | 200.00  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| <b>CAR</b>  | 1.67  | %                  | <b>VR</b>   | 367.67  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| <b>CHA</b>  | 10.39   | %                  | <b>VAIR</b>   | 20.00   | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| <b>CHR</b>  | 1.84  | %                  | <b>VA</b>   | 263.07  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| <b>CAIR</b>   | 2.00  | %                  | <b>A</b>  | 623.49  | Kg/m <sup>3</sup>  |  |
| DOSIFICACIÓN AL PESO DEL HORMIGÓN   |   |                    |   |   |                    |  |
| MATERIALES  | CANTIDAD (KG) POR CADA M <sup>3</sup>   |                    | DOSIFICACIÓN AL PESO  | CANTIDAD DE (KG) POR SACO DE CEMENTO                    |                    |  |
| C   | 400.00  |                    | 1.00  | 50.00   |                    |  |
| W   | 200.00  |                    | 0.50  | 25.00   |                    |  |
| A   | 623.49  |                    | 1.56  | 77.94   |                    |  |
| R   | 974.33  |                    | 2.44  | 121.79  |                    |  |
| <b>Total</b>  | 2197.82   |                    | Kg/m <sup>3</sup> Densidad aprox. del Hormigón Convencional |   |                    |  |
| NOMENCLATURA  |   |                    |   |   |                    |  |
| F'c   | Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )                                    |                    | F'cr  | Resistencia a compresión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                    |  |
| Ast   | Asentamiento de diseño (cm)   |                    |   |   |                    |  |

|      |  |      |  |
|------|--|------|--|
| TNM  | Tamaño nominal máximo (mm)                           | W/C  | Relación Agua Cemento                    |
| MF   | Módulo de finura de la arena.                        | VC   | Volumen de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )  |
| DRC  | Densidad Real del Cemento.                           | VW   | Volumen de agua (Lt/m <sup>3</sup> )     |
| DRA  | Densidad Real de arena.                              | VR   | Volumen de Ripio (Kg/m <sup>3</sup> )    |
| DRR  | Densidad Real del ripio.                             | VAIR | Volumen de aire (Kg/m <sup>3</sup> )     |
| DACR | Densidad apare. comp. del Ripio.(Kg/m <sup>3</sup> ) | VA   | Volumen de arena (Kg/m <sup>3</sup> )    |
| CAA  | Capacidad de absorción de la Arena (%)               | W    | Cantidad de Agua (Lt/m <sup>3</sup> )    |
| CAR  | Capacidad de absorción del Ripio (%)                 | C    | Cantidad de Cemento (Kg/m <sup>3</sup> ) |
| CHA  | Contenido de Humedad de la Arena (%)                 | A    | Cantidad de Arena (Kg/m <sup>3</sup> )   |
| CHR  | Contenido de Humedad del Ripio (%)                   | R    | Cantidad de Ripio (Kg/m <sup>3</sup> )   |
| CAIR | Cantidad de aire (%)                                 |      |  |

Fuente: Trabajo Experimental - Dayana Benalcázar.

### A3. Dosificación del hormigón ligero – Método ACI 211.2

**Tabla 77.-** Resumen dosificación para  $f'c$  de 240 kg/cm<sup>2</sup> para hormigón ligero.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO   |   |   |                       |   |                    |  |
|---|---|---|-----------------------|---|--------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |   |   |                       |   |                    |  |
| INGENIERÍA CIVIL  |   |   |                       |   |                    |  |
| TEMA: "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |   |                       |   |                    |  |
| DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN LIGERO F'C=240  |   |   |                       |   |                    |  |
| MÉTODO  | Práctica para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano. |   |                       |   |                    |  |
| REALIZADO:  | Dayana Pamela Benalcázar Quiguango  |   |                       | FECHA:  | 30/11/2021         |  |
| MÉTODO ACI 211.2  |   |   |                       |   |                    |  |
| ESPECIFICACIONES DE DISEÑO  |   |   | RESISTENCIA DE DISEÑO |   |                    |  |
| F'c   | 240.00  | Kg/cm <sup>2</sup>  | f'cr                  | $f'cr = f'c + 83$                                       |                    |  |
| AST   | 8.00  | cm  | f'cr                  | 323.00  | Kg/cm <sup>2</sup> |  |
| TMN   | 19.00   | mm  | CÁLCULOS              |   |                    |  |
| RESULTADOS DE ENSAYOS   |   |   | W                     | 202.00  | Lt/m <sup>3</sup>  |  |
| MF  | 2.35  | -   | w/c                   | 0.51  | -                  |  |
| DRC   | 2.68  | -   | C                     | 396.08  | Kg/m <sup>3</sup>  |  |
| DRA   | 2.37  | -   | Factor de tabla       | 0.74  | m <sup>3</sup>     |  |
| DRP   | 1.12  | -   | P                     | 459.09  | Kg/m <sup>3</sup>  |  |
| DASP  | 519.29  | Kg/m <sup>3</sup>   | VC                    | 147.79  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| CAA   | 1.26  | %   | VW                    | 202.00  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| CAP   | 19.47   | %   | VP                    | 409.90  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| CHA   | 10.39   | %   | VAIR                  | 20.00   | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| CHP   | 18.68   | %   | VA                    | 220.31  | Lts/m <sup>3</sup> |  |
| CAIR  | 2.00  | %   | A                     | 522.12  | Kg/m <sup>3</sup>  |  |
| DOSIFICACIÓN AL PESO DEL HORMIGÓN   |   |   |                       |   |                    |  |
| MATERIALES  | CANTIDAD (KG) POR CADA M <sup>3</sup>   | DOSIFICACIÓN AL PESO  |                       | CANTIDAD DE (KG) POR SACO DE CEMENTO                    |                    |  |
| C   | 396.08  | 1.00  |                       | 50.00   |                    |  |
| W   | 202.00  | 0.51  |                       | 25.50   |                    |  |
| A   | 522.12  | 1.32  |                       | 65.91   |                    |  |
| R   | 459.09  | 1.16  |                       | 57.95   |                    |  |
| <b>Total</b>  | 1579.29   | Kg/m <sup>3</sup> Densidad aprox. del Hormigón Convencional |                       |   |                    |  |
| NOMENCLATURA  |   |   |                       |   |                    |  |
| F'c   | Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )                                |   | F'cr                  | Resistencia a compresión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                    |  |
| Ast   | Asentamiento de diseño (cm)   |   |                       |   |                    |  |





|      |   |      |                             |
|------|---|------|-----------------------------|
| TNM  | Tamaño nominal máximo (mm)              | W/C  | Relación Agua Cemento       |
| MF   | Módulo de finura de la arena.           | VC   | Volumen de cemento (Kg/m3)  |
| DRC  | Densidad Real del Cemento.              | VW   | Volumen de agua (Lt/m3)     |
| DRA  | Densidad Real de arena.                 | VP   | Volumen de Pómez (Kg/m3)    |
| DRP  | Densidad Real de la pómez.              | VAIR | Volumen de aire (Kg/m3)     |
| DASP | Densidad apare.suel.de la pómez.(Kg/m3) | VA   | Volumen de arena (Kg/m3)    |
| CAA  | Capacidad de absorción de la Arena (%)  | W    | Cantidad de Agua (Lt/m3)    |
| CAP  | Capacidad de absorción de la Pómez (%)  | C    | Cantidad de Cemento (Kg/m3) |
| CHA  | Contenido de Humedad de la Arena (%)    | A    | Cantidad de Arena (Kg/m3)   |
| CHR  | Contenido de Humedad de la Pómez (%)    | P    | Cantidad de Pómez (Kg/m3)   |
| CAIR | Cantidad de aire (%)                    |      |                             |

Fuente: Trabajo experimental - Dayana Benalcázar.







#### A4. Resultados de ensayo a compresión – Informe Laboratorio





#### Informe de ensayo a compresión a los 7 días.

|    | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS<br>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL   |  |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
|---|---|---|------|-------------|-------|--|-------------|-----------|----------|---------------|--------------------|--|
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39 / INEN 1573</b>  |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
| <b>TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>  | "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
| <b>AUTOR:</b>   | Egda. Dayana Benalcázar   | <b>NÚMERO DE CILINDROS A ENSAYAR</b>  | 9    |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
| <b>ENSAYO DE ROTURAS DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
| Probeta   | Fecha   |   | Edad | Dimensiones |       | Área   | Carga       |           | Esfuerzo | Tipo de falla | Esfuerzo de diseño | Observación                            |
|   | N°  | Elaboración   |      | Rotura      | Días  |  | Díametro cm | Altura cm |          |               |                    |  |
| 1   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 120.0       | 1201.659  | 15.3     | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 2   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 124.0       | 1240.929  | 15.8     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 3   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 130.0       | 1303.761  | 16.6     | 3             | 240                | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 4   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 136.0       | 1358.739  | 17.3     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 5   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 142.0       | 1421.571  | 18.1     | 3             | 240                | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 6   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 139.0       | 1390.155  | 17.7     | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 7   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 98.8        | 989.602   | 12.6     | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
| 8   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 100.0       | 997.456   | 12.7     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
| 9   | 06/12/2021  | 13/12/2021  | 7    | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 109.0       | 1091.703  | 13.9     | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
|   |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
|   |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
|   |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |  |
| <b>Tipos de falla según INEN 1573:</b>  |   |   |      |             |       | <b>Nota:</b>   |             |           |          |               |                    |  |
| 1.- Conos bien formados en ambos extremos<br>2.- Conos bien formado en un extremos y grieta vertical<br>3.- Grietas de acolumnado vertical en ambos extremos<br>4.- Fractura diagonal sin agrietarse a través de extremos<br>5.- Fracturas laterales en la parte superiores o fondo<br>6.- Similar a tipo 5 pero el extremo es acentado |   |   |      |             |       | Revisar resistencias para distintos días de edad <input type="checkbox"/><br>7 días (65% - 75%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>14 días (80% - 90%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>21 días (90% - 100%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o autor del proyecto. |             |           |          |               |                    |  |
| <br>BYRON LEONARDO LOPEZ SANCHEZ<br>Ing. Byron López<br>TÉCNICO DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |   |   |      |             |       | <br>JORGE DANIEL PILLAPA<br>PILLAPA PONLUISA<br>Ing. Daniel Pillapa<br>AUXILIAR DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |             |           |          |               |                    |  |





## Informe de ensayo a compresión a los 7 días.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/>                     FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>                     CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS<br/>                     LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL                 </div>  </div> |            |             |  |             |             |  |                 |          |                                      |               |                    |                                      |
|---|------------|-------------|--|-------------|-------------|--|-----------------|----------|--------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39 / INEN 1573</b>  |            |             |  |             |             |  |                 |          |                                      |               |                    |                                      |
| <b>TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>  |            |             | "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |             |             |  |                 |          |                                      |               |                    |                                      |
| <b>AUTOR:</b>   |            |             | Egda. Dayana Benalcázar  |             |             |  |                 |          | <b>NÚMERO DE CILINDROS A ENSAYAR</b> |               | 9                  |                                      |
| <b>ENSAYO DE ROTURAS DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |            |             |  |             |             |  |                 |          |                                      |               |                    |                                      |
| Probeta   | Fecha      |             | Edad   | Dimensiones |             | Área   | Carga           |          | Esfuerzo                             | Tipo de falla | Esfuerzo de diseño | Observación                          |
|   | N°         | Elaboración | Rotura   | Días        | Diametro cm | Altura cm  | cm <sup>2</sup> | KN       | Kg                                   |               | Mpa                |                                      |
| 1   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 153.0           | 1531.526 | 19.5                                 | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 2   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 149.0           | 1492.257 | 19.0                                 | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 3   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 149.0           | 1492.257 | 19.0                                 | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 4   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 106.0           | 1060.288 | 13.5                                 | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 5   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 111.0           | 1107.411 | 14.1                                 | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 6   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 106.0           | 1060.288 | 13.5                                 | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 7   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 108.0           | 1083.849 | 13.8                                 | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| 8   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 115.0           | 1146.681 | 14.6                                 | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| 9   | 07/12/2021 | 14/12/2021  | 7  | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 120.0           | 1201.659 | 15.3                                 | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| <b>Tipos de falla según INEN 1573:</b>  |            |             |  |             |             | <b>Nota:</b>   |                 |          |                                      |               |                    |                                      |
| 1.- Conos bien formados en ambos extremos<br>2.- Conos bien formado en un extremos y grieta vertical<br>3.- Grietas de acolumnado vertical en ambos extremos<br>4.- Fractura diagonal sin agrietarse a traves de extremos<br>5.- Fracturas laterales en la parte superiores o fondo<br>6.- Similar a tipo 5 pero el extremo es acentado   |            |             |  |             |             | Revisar resistencias para distintos días de edad <input type="checkbox"/><br>7 días (65% - 75%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>14 días (80% - 90%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>21 días (90% - 100%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o autor del proyecto. |                 |          |                                      |               |                    |                                      |
| <br><small>Plataforma de identificación por QR</small><br>BYRON LEONARDO<br>LOPEZ SANCHEZ<br><br>Ing. Byron López<br>TÉCNICO DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |            |             |  |             |             | <br><small>Plataforma de identificación por QR</small><br>JORGE DANIEL<br>PILLAPA<br>PONLUISA<br>Ing. Daniel Pillapa<br>AUXILIAR DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |                 |          |                                      |               |                    |                                      |





## Informe de ensayo a compresión a los 14 días.

|    | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS<br>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL   |  |      |             |             |  |           |          |                 |               |  |  |
|---|---|---|------|-------------|-------------|--|-----------|----------|-----------------|---------------|--|--|
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39 / INEN 1573</b>  |   |   |      |             |             |  |           |          |                 |               |  |  |
| <b>TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>  | "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |      |             |             |  |           |          |                 |               |  |  |
| <b>AUTOR:</b>   | Egda. Dayana Benalcázar   | <b>NÚMERO DE CILINDROS A ENSAYAR</b>  |      |             |             |  |           |          |                 |               |  |  |
| <b>ENSAYO DE ROTURAS DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |   |   |      |             |             |  |           |          |                 |               |  |  |
| Probeta   | Fecha   |   | Edad | Dimensiones |             | Área<br>cm <sup>2</sup>  | Carga     |          | Esfuerzo<br>Mpa | Tipo de falla | Esfuerzo de diseño<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Observación                            |
|   | Nº  | Elaboración   |      | Rotura      | Díametro cm |  | Altura cm | KN       |                 |               |  |  |
| 1   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 179.0     | 1790.708 | 22.8            | 5             | 240                                      | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 2   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 180.0     | 1798.562 | 22.9            | 2             | 240                                      | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 3   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 183.0     | 1829.978 | 23.3            | 5             | 240                                      | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 4   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 191.0     | 1908.518 | 24.3            | 3             | 240                                      | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 5   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 189.0     | 1892.810 | 24.1            | 2             | 240                                      | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 6   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 191.0     | 1908.518 | 24.3            | 2             | 240                                      | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 7   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 120.0     | 1201.659 | 15.3            | 5             | 240                                      | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
| 8   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 122.0     | 1217.367 | 15.5            | 5             | 240                                      | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
| 9   | 06/12/2021  | 20/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00       | 78.54  | 127.0     | 1272.345 | 16.2            | 5             | 240                                      | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
|   |   |   |      |             |             |  |           |          |                 |               |  |  |
| <b>Tipos de falla según INEN 1573:</b>  |   |   |      |             |             | <b>Nota:</b>   |           |          |                 |               |  |  |
| 1.- Conos bien formados en ambos extremos<br>2.- Conos bien formado en un extremos y grieta vertical<br>3.- Grietas de acolumnado vertical en ambos extremos<br>4.- Fractura diagonal sin agrietarse a través de extremos<br>5.- Fracturas laterales en la parte superiores o fondo<br>6.- Similar a tipo 5 pero el extremo es acentado |   |   |      |             |             | Revisar resistencias para distintos días de edad <input type="checkbox"/><br>7 días (65% - 75%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>14 días (80% - 90%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>21 días (90% - 100%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o autor del proyecto. |           |          |                 |               |  |  |
| <br>Firmado electrónicamente por:<br>BYRON LEONARDO<br>LOPEZ SANCHEZ<br><br>Ing. Byron López<br>TÉCNICO DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |   |   |      |             |             | <br>Firmado electrónicamente por:<br>JORGE DANIEL<br>PILLAPA<br>PONLUTSA<br>Ing. Daniel Pillapa<br>AUXILIAR DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |           |          |                 |               |  |  |





## Informe de ensayo a compresión a los 14 días.

|    | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS<br>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL   |  |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
|---|---|---|------|-------------|-------|--|-------------|-----------|----------|---------------|--------------------|--------------------------------------|
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39 / INEN 1573</b>  |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| <b>TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>  | "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| <b>AUTOR:</b>   | Egda. Dayana Benalcázar   | <b>NÚMERO DE CILINDROS A ENSAYAR</b>  |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| <b>ENSAYO DE ROTURAS DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| Probeta   | Fecha   |   | Edad | Dimensiones |       | Área   | Carga       |           | Esfuerzo | Tipo de falla | Esfuerzo de diseño | Observación                          |
|   | Nº  | Elaboración   |      | Rotura      | Días  |  | Diametro cm | Altura cm |          |               |                    |                                      |
| 1   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 196.0       | 1963.4954 | 25.0     | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 2   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 207.0       | 2073.4512 | 26.4     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 3   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 201.0       | 2010.6193 | 25.6     | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 4   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 117.0       | 1170.2433 | 14.9     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 5   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 122.0       | 1217.3672 | 15.5     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 6   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 131.0       | 1311.6149 | 16.7     | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 7   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 138.0       | 1382.3008 | 17.6     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| 8   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 130.0       | 1303.761  | 16.6     | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| 9   | 07/12/2021  | 21/12/2021  | 14   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 137.0       | 1366.5928 | 17.4     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| <b>Tipos de falla según INEN 1573:</b>  |   |   |      |             |       | <b>Nota:</b>   |             |           |          |               |                    |                                      |
| 1.- Conos bien formados en ambos extremos<br>2.- Conos bien formado en un extremos y grieta vertical<br>3.- Grietas de acolumnado vertical en ambos extremos<br>4.- Fractura diagonal sin agrietarse a traves de extremos<br>5.- Fracturas laterales en la parte superiores o fondo<br>6.- Similar a tipo 5 pero el extremo es acentado |   |   |      |             |       | Revisar resistencias para distintos días de edad <input type="checkbox"/><br>7 días (65% - 75%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>14 días (80% - 90%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>21 días (90% - 100%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o autor del proyecto. |             |           |          |               |                    |                                      |
| <br>Firmado digitalmente por:<br>BYRON LEONARDO LOPEZ SANCHEZ<br><br>Ing. Byron López<br>TÉCNICO DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |   |   |      |             |       | <br>Firmado digitalmente por:<br>JORGE DANIEL PILLAPA FONLUISA<br>Ing. Daniel Pillapa<br>AUXILIAR DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |             |           |          |               |                    |                                      |

## Informe de ensayo a compresión a los 28 días.

|    | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS<br>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL   |  |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
|---|---|---|------|-------------|-------|-------|--|-----------|----------|---------------|--------------------|--|
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39 / INEN 1573</b>  |   |   |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
| <b>TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>  | "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f_c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
| <b>AUTOR:</b>   | Egda. Dayana Benalcázar   | <b>NÚMERO DE CILINDROS A ENSAYAR</b> 9  |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
| <b>ENSAYO DE ROTURAS DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |   |   |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
| Probeta   | Fecha   |   | Edad | Dimensiones |       | Área  | Carga  |           | Esfuerzo | Tipo de falla | Esfuerzo de diseño | Observación                            |
|   | N°  | Elaboración   |      | Rotura      | Días  |       | Diametro cm  | Altura cm |          |               |                    |  |
| 1   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 219.0  | 2191.2609 | 27.9     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 2   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 216.0  | 2159.8449 | 27.5     | 3             | 240                | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 3   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 222.0  | 2222.6768 | 28.3     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 0% de sup.   |
| 4   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 227.0  | 2269.8007 | 28.9     | 3             | 240                | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 5   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 244.0  | 2442.5883 | 31.1     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 6   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 239.0  | 2387.6104 | 30.4     | 5             | 240                | Hormigón Convencional con 0.8% de sup. |
| 7   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 123.0  | 1233.0751 | 15.7     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
| 8   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 123.0  | 1233.0751 | 15.7     | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
| 9   | 06/12/2021  | 03/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54 | 130.0  | 1303.761  | 16.6     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0% de sup.         |
|   |   |   |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
|   |   |   |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
|   |   |   |      |             |       |       |  |           |          |               |                    |  |
| <b>Tipos de falla según INEN 1573:</b>  |   |   |      |             |       |       | <b>Nota:</b>   |           |          |               |                    |  |
| 1.- Conos bien formados en ambos extremos<br>2.- Conos bien formado en un extremos y grieta vertical<br>3.- Grietas de acolumnado vertical en ambos extremos<br>4.- Fractura diagonal sin agrietarse a traves de extremos<br>5.- Fracturas laterales en la parte superiores o fondo<br>6.- Similar a tipo 5 pero el extremo es acentado |   |   |      |             |       |       | Revisar resistencias para distintos días de edad <input type="checkbox"/><br>7 días (65% - 75%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>14 días (80% - 90%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>21 días (90% - 100%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o autor del proyecto. |           |          |               |                    |  |
| <br>BYRON LEONARDO LOPEZ SANCHEZ<br>Ing. Byron López<br>TÉCNICO DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |   |   |      |             |       |       | <br>JORGE DANIEL PILLAPA BONLUISA<br>AUXILIAR DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |           |          |               |                    |  |

## Informe de ensayo a compresión a los 28 días.

|    | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS<br>LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL   |  |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
|---|---|---|------|-------------|-------|--|-------------|-----------|----------|---------------|--------------------|--------------------------------------|
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39 / INEN 1573</b>  |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| <b>TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>  | "Análisis comparativo del peso y resistencia a compresión del hormigón convencional con un hormigón ligero de piedra pómez para una resistencia de diseño a compresión de $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante." |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| <b>AUTOR:</b>   | Egda. Dayana Benalcázar   | <b>NÚMERO DE CILINDROS A ENSAYAR</b>  | 9    |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| <b>ENSAYO DE ROTURAS DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |   |   |      |             |       |  |             |           |          |               |                    |                                      |
| Probeta   | Fecha   |   | Edad | Dimensiones |       | Área   | Carga       |           | Esfuerzo | Tipo de falla | Esfuerzo de diseño | Observación                          |
|   | Nº  | Elaboración   |      | Rotura      | Días  |  | Diametro cm | Altura cm |          |               |                    |                                      |
| 1   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 225.0       | 2246.2387 | 28.6     | 3             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 2   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 220.0       | 2199.1149 | 28.0     | 3             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 3   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 275.0       | 2748.8936 | 35.0     | 2             | 240                | Hormigón Convencional con 1% de sup. |
| 4   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 119.0       | 1193.8052 | 15.2     | 2             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 5   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 133.0       | 1327.3229 | 16.9     | 3             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 6   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 130.0       | 1303.761  | 16.6     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 0.8% de sup.     |
| 7   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 143.0       | 1429.4247 | 18.2     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| 8   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 133.0       | 1327.3229 | 16.9     | 3             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| 9   | 07/12/2021  | 04/01/2022  | 28   | 10.00       | 20.00 | 78.54  | 135.0       | 1350.8848 | 17.2     | 5             | 240                | Hormigón Ligero con 1% de sup.       |
| <b>Tipos de falla según INEN 1573:</b>  |   |   |      |             |       | <b>Nota:</b>   |             |           |          |               |                    |                                      |
| 1.- Conos bien formados en ambos extremos<br>2.- Conos bien formado en un extremos y grieta vertical<br>3.- Grietas de acolumnado vertical en ambos extremos<br>4.- Fractura diagonal sin agrietarse a través de extremos<br>5.- Fracturas laterales en la parte superiores o fondo<br>6.- Similar a tipo 5 pero el extremo es acentado |   |   |      |             |       | Revisar resistencias para distintos días de edad <input type="checkbox"/><br>7 días (65% - 75%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>14 días (80% - 90%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>21 días (90% - 100%) de la resistencia especificada <input type="checkbox"/><br>La toma y entrega de muestras, fecha de elaboración, identificación y especificación son de estricta responsabilidad de la persona o autor del proyecto. |             |           |          |               |                    |                                      |
| <br>BYRON LEONARDO LOPEZ SANCHEZ<br>Ing. Byron López<br>TÉCNICO DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  |   |   |      |             |       | <br>JORGE DANIEL PILLA POMA<br>N.A.<br>AUXILIAR DE LABORATORIO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |             |           |          |               |                    |                                      |

## A5. Fotografías

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p><b>Fotografía 1.-</b> Arena fina proveniente de Mina Salcedo.</p>                | <p><b>Fotografía 2.-</b> Ripio TMN= 19mm proveniente de Mina Ambato.</p>             |
|  |  |
| <p><b>Fotografía 3.-</b> Piedra Pómez TMN= 19mm proveniente de Latacunga.</p>       | <p><b>Fotografía 4.-</b> Cemento Hidráulico Tipo GU.</p>                             |



**Fotografía 5.-** Aditivo Superplastificante reductor de alto poder.



**Fotografía 6.-** Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Arena Fina



**Fotografía 7.-** Análisis Granulométrico del Agregado grueso Ligero - Piedra Pómez TMN=19mm.



**Fotografía 8.-** Análisis Granulométrico del Agregado grueso normal - Ripio TMN=19mm.





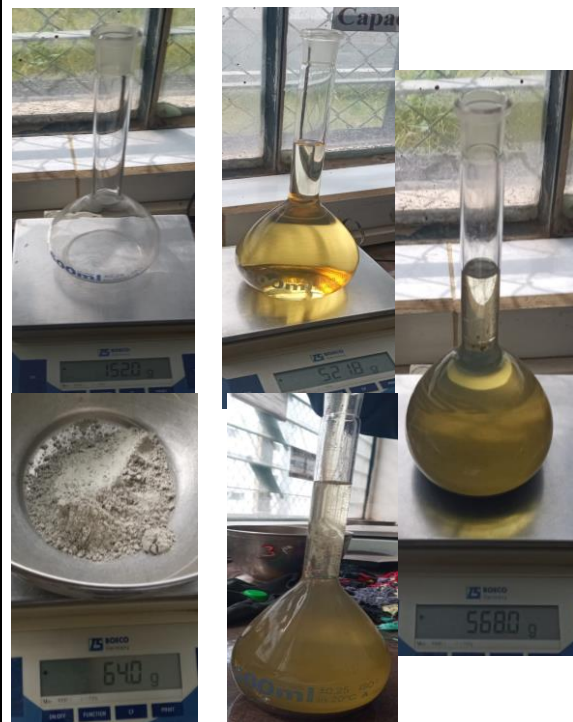
**Fotografía 9.-** Contenido de Humedad Agregado Fino - Arena



**Fotografía 10.-** Contenido de Humedad Agregado Grueso Ligero - Piedra Pómez TMN=19mm.



**Fotografía 11.-** Contenido de Humedad Agregado Grueso normal- Rípió TMN=19mm.



**Fotografía 12.-** Densidad Real del Cemento Hidráulico Tipo GU.



**Fotografía 13.-** Densidad Real del Agregado Fino - Arena



**Fotografía 14.-** Densidad Real del Agregado Grueso Ligero - Piedra Pómez TMN= 19mm.



**Fotografía 15.-** Densidad Real del Agregado Grueso normal - Ripio TMN= 19mm.



**Fotografía 16.-** Capacidad de Absorción de los Agregados- Muestras de Arena, Ripio y Piedra Pómez.



**Fotografía 17.-** Densidad Aparente de los Agregados - Piedra Pómez TMN= 19mm.



**Fotografía 18.-** Densidad Aparente de los Agregados - Arena.



**Fotografía 19.-** Densidad Aparente de los Agregados - Ripio TMN= 19mm.



**Fotografía 20.-** Moldes cilíndricos de 10cm de diámetro y 20 cm de altura.



**Fotografía 21.-** Limpieza y engrasado de moldes cilíndricos.



**Fotografía 22.-** Notación y pesaje de moldes cilíndricos para hormigón convencional y ligero con 0% superplastificante.



**Fotografía 23.-** Notación y pesaje de moldes cilíndricos para hormigón convencional y ligero con 0.8% superplastificante.



**Fotografía 24.-** Notación y pesaje de moldes cilíndricos para hormigón convencional y ligero con 1% superplastificante.



**Fotografía 25.-** Pesaje de cemento para hormigón convencional.



**Fotografía 26.-** Pesaje de ripio TMN=19mm para hormigón convencional.



**Fotografía 27.-** Pesaje de arena para hormigón convencional.



**Fotografía 28.-** Materiales para hormigón convencional.



**Fotografía 29.-** Incorporación de agua a la mezcla.



**Fotografía 30.-** Incorporación de agregado grueso a la mezcla.



**Fotografía 31.-** Incorporación de agregado fino a la mezcla.



**Fotografía 32.-** Incorporación de cemento tipo GU a la mezcla.



**Fotografía 33.-** Incorporación de aditivo superplastificante a la mezcla.



**Fotografía 34.-** Vertido de hormigón en carretilla para facilidad de trabajo.



**Fotografía 35.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Vertido de mezcla.



**Fotografía 36.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Compactación por varillado.



**Fotografía 37.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Limpieza de excesos alrededor del cono.



**Fotografía 38.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Levantamiento de Cono.

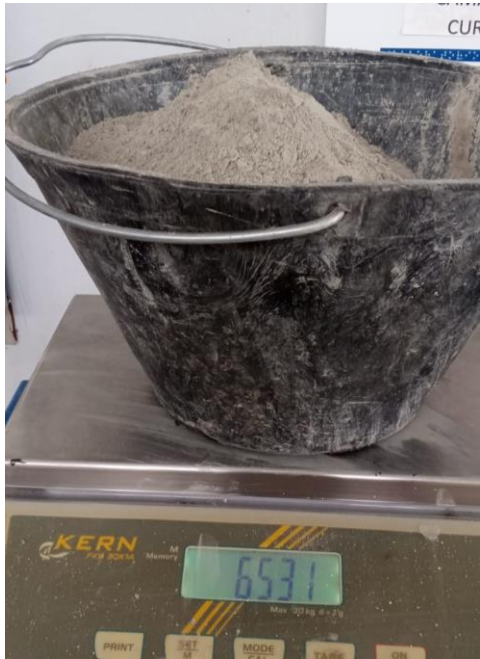


**Fotografía 39.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Medición del asentamiento.



**Fotografía 40.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Medición del asentamiento.

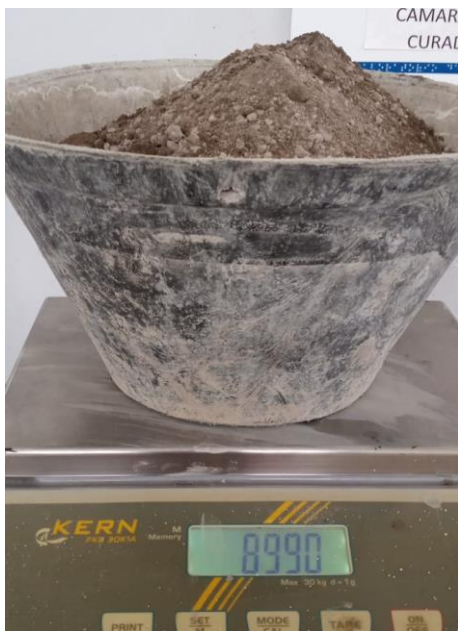




**Fotografía 41.-** Pesaje de cemento para hormigón ligero.



**Fotografía 42.-** Pesaje de piedra pómez TMN=19mm para hormigón ligero.



**Fotografía 43.-** Pesaje de arena para hormigón ligero.



**Fotografía 44.-** Materiales para hormigón ligero.



**Fotografía 45.-** Mezcla de Materiales en concretera.



**Fotografía 46.-** Vertido de hormigón ligero fresco en el cono en capas.



**Fotografía 47.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Vertido en capas y compactación por varillado.



**Fotografía 48.-** Prueba de asentamiento por el Cono de Abrams- Levantamiento de cono y medición del asentamiento.



**Fotografía 49.-** Hormigón fresco vaciado en carretilla para elaborar especímenes cilíndricos.



**Fotografía 50.-** Compactación en capas por varillado.



**Fotografía 51.-** Mezclando hormigón fresco para elaborar cilindros.



**Fotografía 52.-** Limpieza de varilla para enrasar espécimen de hormigón fresco.



**Fotografía 53.-** Denominación de especímenes cilíndricos de hormigón convencional.



**Fotografía 54.-** Denominación de especímenes cilíndricos de hormigón ligero.



**Fotografía 55.-** Pesaje de moldes cilíndricos + hormigón fresco (convencional y ligero) con 0% superplastificante.



**Fotografía 56.-** Pesaje de moldes cilíndricos + hormigón fresco (convencional y ligero) con 0.8% superplastificante.



**Fotografía 57.-** Pesaje de moldes cilíndricos + hormigón fresco (convencional y ligero) con 1% superplastificante.



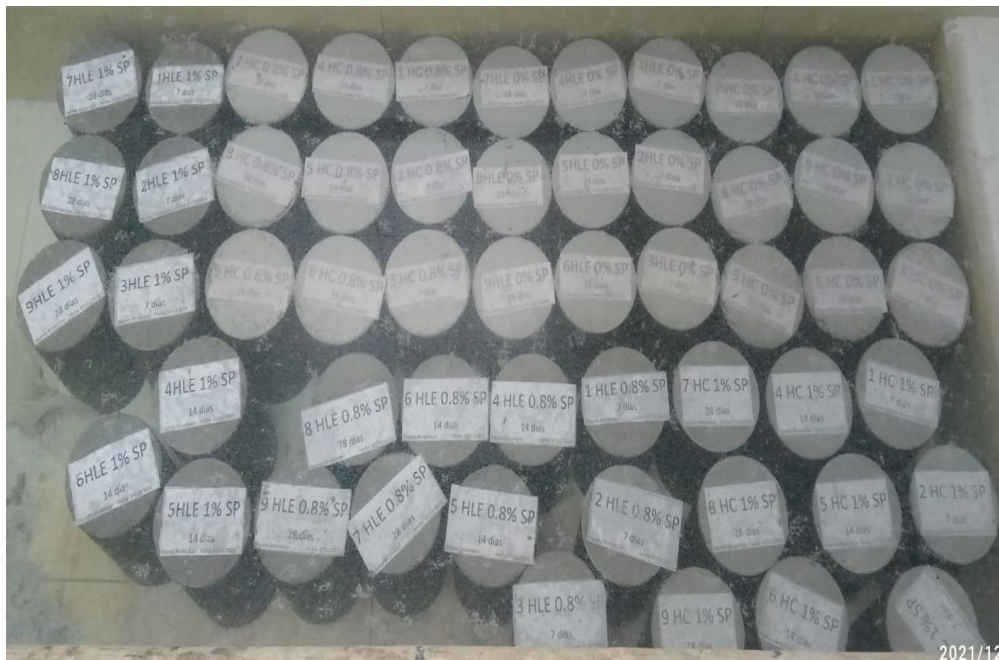
**Fotografía 58.-** Especímenes cilíndricos de hormigón - Fraguado inicial.



**Fotografía 55.-** Desencofrado de especímenes cilíndricos.



**Fotografía 56.-** Colocando los especímenes cilíndricos en la cámara de curado.



**Fotografía 57.-** Especímenes cilíndricos en la cámara de curado.



**Fotografía 55.-** Retirando los cilindros de la cámara de curado para ensayos de densidad y resistencia a compresión.



**Fotografía 56.-** Preparando los cilindros para ensayos de densidad y resistencia a compresión.



**Fotografía 57.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - diámetro 10cm a los 7 días de edad.



**Fotografía 58.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - altura 20 cm a los 7 días de edad.



**Fotografía 59.-** Pesaje de cilindros a los 7 días de edad.



**Fotografía 60.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - diámetro 10cm a los 14 días de edad.



**Fotografía 61.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - altura 20 cm a los 14 días de edad.



**Fotografía 62.-** Tomando nota de datos obtenidos previa medición.





**Fotografía 63.-** Pesaje de cilindros a los 14 días de edad.



**Fotografía 64.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - diámetro 10cm a los 28 días de edad.



**Fotografía 65.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - altura 20 cm a los 28 días de edad.



**Fotografía 66.-** Tomando nota de datos obtenidos previa medición.



**Fotografía 67.-** Pesaje de cilindros a los 28 días de edad.



**Fotografía 68.-** Pesaje de cilindros a los 28 días de edad.



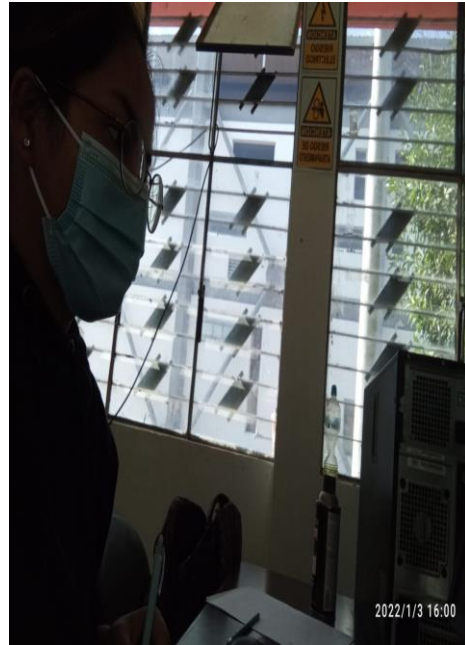
**Fotografía 69.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - diámetro 10 cm a los 28 días de edad.



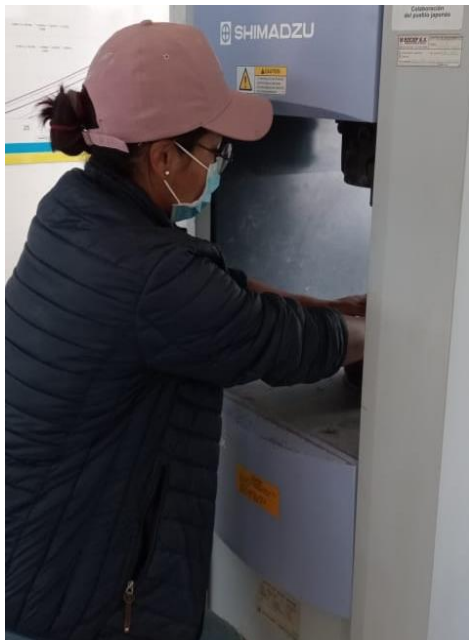
**Fotografía 70.-** Verificación de las dimensiones de los cilindros - altura 20 cm a los 28 días de edad.



**Fotografía 71.-** Pesaje de cilindros a los 28 días de edad.



**Fotografía 72.-** Ingreso de dimensiones de cilindros en programa para ensayo a compresión.



**Fotografía 73.-** Colocación de cilindro en máquina de compresión.



**Fotografía 74.-** Observando si el cilindro se encuentra centrado antes de la precarga.



**Fotografía 75.-** Precarga manual en máquina de compresión.



**Fotografía 76.-** Rotura de cilindros en máquina de compresión.



**Fotografía 77.-** Retirando cilindro ensayado en máquina de compresión.



**Fotografía 78.-** Esquema de falla - Hormigón Convencional.



**Fotografía 79.-** Esquema de falla -  
Hormigón Convencional.



**Fotografía 80.-** Esquema de falla -  
Hormigón Ligero.



**Fotografía 81.-** Esquema de falla -  
Hormigón Ligero.



**Fotografía 82.-** Escombros procedentes de  
los cilindros ensayados.