

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Civil



# **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR CON BLOQUES DE CONCRETO CONVENCIONAL**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Diego Fernando Espinoza Gonzales**

**Código 20202386**

**Ricardo Rafael Paredes Flores**

**Código 20184259**

**Asesor**

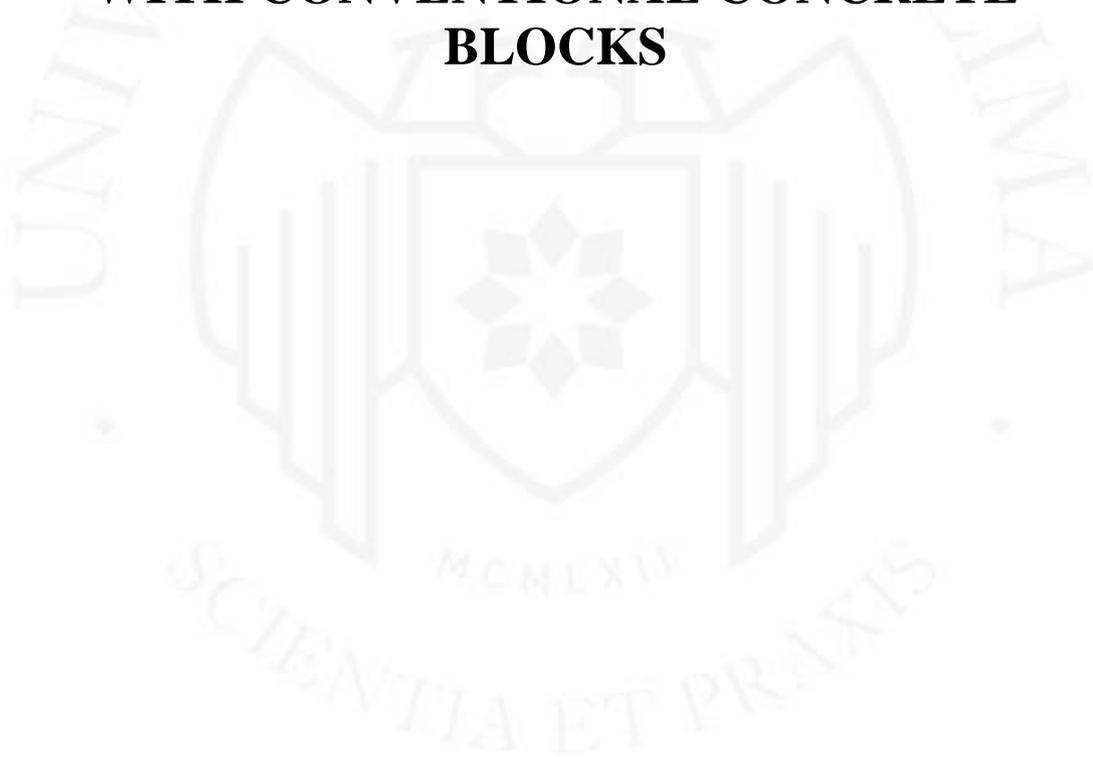
**José Roberto Salinas Saavedra**

Lima – Perú

Julio del 2024



**DEVELOPMENT AND COMPARISON OF  
THE PHYSICAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES OF NON-STRUCTURAL  
BLOCKS MADE OF CELLULAR CONCRETE  
WITH CONVENTIONAL CONCRETE  
BLOCKS**



# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1      CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
1.1    Planteamiento del problema.....	2
1.2    Preguntas de investigación.....	3
1.3    Justificación del tema elegido .....	3
1.4    Alcance de la investigación.....	5
1.5    Limitaciones de la investigación.....	5
1.6    Objetivos .....	5
1.6.1  Objetivo general .....	5
1.6.2  Objetivos específicos .....	5
1.7    Hipótesis.....	6
1.8    Estado del arte .....	6
<b>2      CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1    Conceptos teóricos .....	9
2.1.1  Diseño de mezcla de concreto.....	9
2.1.2  Las adiciones.....	9
2.1.3  Los aditivos .....	10
2.1.4  Generador de espuma.....	10
2.1.5  Concreto Celular .....	11
2.1.6  Tecnología de los bloques de concreto celular .....	12
2.1.7  Sistema de tabiquería .....	13
2.1.8  Propiedades físicas y mecánicas del concreto.....	14
2.1.9  Fraguado.....	14
2.2    Características del agregado fino .....	14
2.3    Diseño y producción del concreto convencional .....	15
2.4    Diseño y producción del concreto celular .....	16

2.5	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional	17
2.5.1	Absorción de agua en el concreto convencional	18
2.5.2	Permeabilidad en concretos porosos	19
2.5.3	Aislamiento Acústico en bloques de concreto convencional	19
2.6	Bases teóricas adicionales	20
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>23</b>
3.1	Nivel de investigación	23
3.2	Diseño de investigación	23
3.3	Población	23
3.4	Muestra	23
3.5	Variables	23
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.7	Procesamiento de datos e información recolectada	24
3.8	Ensayos y diseños teórico-prácticos	24
3.8.1	Ensayos de caracterización del agregado fino	24
3.8.2	Ensayo de granulometría	24
3.8.3	Ensayo de peso unitario suelto y compactado	26
3.8.4	Ensayo para determinar el porcentaje de humedad en los agregados	28
3.8.5	Ensayo para determinar el peso específico y absorción en agregados	29
3.8.6	Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 1900 kg/m <sup>3</sup>	30
3.8.7	Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 1500 kg/m <sup>3</sup>	30
3.8.8	Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 1200 kg/m <sup>3</sup>	30
3.8.9	Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup>	31
3.8.10	Metrado y dosificación de concreto celular con una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> para la elaboración de bloques, probetas de 10 cm x 20 cm para ensayo de absorción y probetas de 15 cm x 30 cm para obtener el módulo de elasticidad.	31
3.8.11	Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1900 kg/m <sup>3</sup> , 1500 kg/m <sup>3</sup> , 1200 kg/m <sup>3</sup> y 900 kg/m <sup>3</sup>	35
3.8.12	Medición de dimensiones de los bloques de poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup>	39
3.8.13	Ensayo de compresión axial a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup>	41

3.8.14	Ensayo de compresión axial a pilas de bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	44
3.8.15	Ensayo de permeabilidad a las probetas que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .. .....	49
3.8.16	Ensayo de absorción a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	53
3.8.17	Ensayo de aislamiento acústico a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	55
3.8.18	Ensayo para obtener el módulo de elasticidad del concreto celular que posee una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	56
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
4.1.	Ensayos de caracterización del agregado.....	58
4.1.1	Ensayo de granulometría.....	58
4.1.2	Ensayo de peso unitario suelto.....	58
4.1.3	Ensayo de peso unitario compactado .....	59
4.1.4	Ensayo para determinar el porcentaje de humedad del agregado fino.....	59
4.1.5	Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.....	59
4.2.	Densidades alcanzadas en un rango de 900 kg/m <sup>3</sup> y 1900 kg/m <sup>3</sup> .....	61
4.2.1	Densidad obtenida del diseño de 1900 kg/m <sup>3</sup> .....	61
4.2.2	Densidad obtenida del diseño de 1500 kg/m <sup>3</sup> .....	62
4.2.3	Densidad obtenida del diseño de 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	63
4.2.4	Densidad obtenida del diseño de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	64
4.3.	Resultados mecánicos .....	65
4.3.1.	Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1900 kg/m <sup>3</sup> .....	65
4.3.2.	Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1500 kg/m <sup>3</sup> .....	67
4.3.3.	Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	69
4.3.4.	Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	70
4.3.5.	Curva de resistencia del concreto celular.....	72
4.3.6.	Dimensiones de los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	72
4.3.7.	Ensayo de compresión axial a bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	74

4.3.8. Ensayo de compresión axial a pilas de bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	75
4.3.9. Ensayo para obtener el módulo de elasticidad del concreto que posee una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	75
4.4. Resultados físicos.....	76
4.4.1. Ensayo de permeabilidad a las probetas que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .. .....	76
4.4.2. Curva de permeabilidad con carga variable .....	77
4.4.3. Ensayo de absorción a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	77
4.4.4. Curva de permeabilidad con carga constante.....	77
4.4.5. Ensayo de aislamiento acústico a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	78
4.4.6. Curva de frecuencias y decibeles del lado emisor y receptor .....	79
<b>5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>80</b>
5.1 Selección del diseño de concreto celular con la densidad más idónea respecto a su trabajabilidad y manipulación .....	80
5.2 Resistencia promedio a la compresión de los bloques de concreto celular con densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	81
5.3 Resistencia promedio a la compresión de las pilas de concreto celular con densidad 900 kg/m <sup>3</sup> .....	83
5.4 Permeabilidad promedio del concreto celular con densidad 900 kg/m <sup>3</sup> .....	84
5.5 Absorción Promedio de bloques de concreto celular con densidad 900 kg/m <sup>3</sup> ..	86
5.6 Aislamiento acústico de bloques con densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	86
5.7 Módulo de elasticidad promedio del concreto celular con densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	87
5.8 Comparativa entre los bloques de concreto celular con densidad 900kg/m <sup>3</sup> y concreto convencional con densidad 2400 kg/m <sup>3</sup> .....	89
<b>6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>7 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>92</b>
<b>8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>94</b>
<b>9 ANEXOS.....</b>	<b>96</b>
9.1 Anexo 01: Aditivo Sika Lightcrete: .....	96

9.2	Anexo 02: Máquina espumógena.....	97
9.3	Anexo 03: Memoria de Cálculo para diseños de Mezcla y dosificaciones de Concreto Celular .....	98
9.4	Anexo 03: Formato para la rotura de probetas de concreto celular .....	105
9.5	Anexo 04: Formato para alabeo y dimensionamiento de la producción de los bloques de concreto celular: .....	106
9.6	Anexo 05: Formato para la rotura de pilas de bloques de concreto celular: .....	106
9.7	Anexo 06: Formato para la rotura de bloques de concreto celular: .....	107
9.8	Anexo 07: Formato para medir la permeabilidad del concreto celular mediante carga variable:.....	108
9.9	Anexo 08: Formato para medir la permeabilidad del concreto celular mediante carga constante:.....	109
9.10	Anexo 09: Formato para medir el porcentaje de absorción de los bloques de concreto celular:.....	109
9.11	Anexo 10: Formato para medir los decibeles en ambas caras del bloque de concreto celular – emisor y receptor:.....	109
9.12	Anexo 11: Curvas Carga vs Tiempo de cada bloque:.....	109
9.13	Anexo 12: Curvas Carga vs Tiempo de cada pila:.....	112
9.14	Anexo 13: Fichas técnicas de otros fabricantes de bloques de concreto convencional .....	113

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b>	Orden y número de tamiz usado .....	25
<b>Tabla 3.2</b>	Dosificación para una densidad de 1900 kg/m <sup>3</sup> .....	30
<b>Tabla 3.3</b>	Dosificación para una densidad de 1500kg/m <sup>3</sup> .....	30
<b>Tabla 3.4</b>	Dosificación para una densidad de 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	30
<b>Tabla 3.5</b>	Dosificación para una densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	31
<b>Tabla 3.6</b>	Dosificación para elaborar bloques y probetas con densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	31
<b>Tabla 3.7</b>	Resumen de la dosificación para el concreto de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	32
<b>Tabla 3.8</b>	Rotura de probetas de 1900kg/m <sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días .....	35
<b>Tabla 3.9</b>	Rotura de probetas de 1500kg/m <sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días .....	36
<b>Tabla 3.10</b>	Rotura de probetas de 1200kg/m <sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días .....	36
<b>Tabla 3.11</b>	Rotura de probetas de 900kg/m <sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días .....	37
<b>Tabla 4.1</b>	Ensayo P.U.S .....	58
<b>Tabla 4.2</b>	Ensayo P.U.C .....	59
<b>Tabla 4.3</b>	Ensayo de % de humedad .....	59
<b>Tabla 4.4</b>	Ensayo de absorción y peso específico del agregado fino .....	60
<b>Tabla 4.5</b>	Densidades calculadas vs la densidad de 1900 kg/m <sup>3</sup> proyectada .....	61
<b>Tabla 4.6</b>	Densidades calculadas vs la densidad de 1500 kg/m <sup>3</sup> proyectada .....	62
<b>Tabla 4.7</b>	Densidades calculadas vs la densidad de 1200 kg/m <sup>3</sup> proyectada .....	63
<b>Tabla 4.8</b>	Densidades calculadas vs la densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> proyectada .....	64
<b>Tabla 4.9</b>	Resultados de la rotura de probetas con densidad 1900 kg/m <sup>3</sup> .....	66
<b>Tabla 4.10</b>	Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad 1900 kg/m <sup>3</sup> .....	67
<b>Tabla 4.11</b>	Resultados de la rotura de probetas con densidad 1500 kg/m <sup>3</sup> .....	67
<b>Tabla 4.12</b>	Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad 1500 kg/m <sup>3</sup> .....	68
<b>Tabla 4.13</b>	Resultados de la rotura de probetas con densidad 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	69
<b>Tabla 4.14</b>	Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad de 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	70
<b>Tabla 4.15</b>	Resultados de la rotura de probetas con densidad 900 kg/m <sup>3</sup> .....	70

<b>Tabla 4.16</b> Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad de 900 kg/m <sup>3</sup> .....	71
<b>Tabla 4.17</b> Resultados del dimensionamiento de cada bloque .....	72
<b>Tabla 4.18</b> Resultados de la rotura de los bloques con densidad de 900kg/m <sup>3</sup> .....	74
<b>Tabla 4.19</b> Resultados de la rotura de las pilas .....	75
<b>Tabla 4.20</b> Resultados del ensayo de permeabilidad - Carga Variable.....	76
<b>Tabla 4.21</b> Resultados del ensayo de permeabilidad - Carga Constante .....	76
<b>Tabla 4.22</b> Resultados del % de absorción de los bloques .....	78
<b>Tabla 4.23</b> Medición de los decibeles - Emisor Y Receptor.....	78
<b>Tabla 4.24</b> Resultados del coeficiente de absorción acústica .....	79
<b>Tabla 4.25</b> Resultado del cálculo del módulo de Young .....	75
<b>Tabla 5.1</b> Resumen de la resistencia y densidad de cada diseño proyectado .....	80
<b>Tabla 5.2</b> Resistencia promedio de los bloques .....	82
<b>Tabla 5.3</b> Resistencia promedio de las pilas .....	83
<b>Tabla 5.4</b> Permeabilidad promedio - Carga Variable .....	84
<b>Tabla 5.5</b> Permeabilidad promedio - Carga constante .....	85
<b>Tabla 5.6</b> Porcentaje (%) promedio de absorción de los bloques .....	86
<b>Tabla 5.7</b> Coeficiente promedio de absorción acústica .....	86
<b>Tabla 5.8</b> Módulo de Young estimado.....	87
<b>Tabla 5.9</b> Comparativa de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto celular con los bloques de concreto convencional .....	89

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Adición de micro sílice (silica fume) .....	9
<b>Figura 2.2</b> Generador de espuma .....	11
<b>Figura 2.3</b> Espuma generada.....	11
<b>Figura 2.4</b> Bloques prismáticos .....	13
<b>Figura 2.5</b> Tabiquería de bloques de concreto .....	14
<b>Figura 2.6</b> Concreto permeable.....	19
<b>Figura 2.7</b> Reflectividad y absorción en muros .....	20
<b>Figura 3.1</b> Contenido retenido en cada tamiz .....	26
<b>Figura 3.2</b> Finos separados .....	26
<b>Figura 3.3</b> Cuarteo .....	28
<b>Figura 3.4</b> Saturando la muestra .....	29
<b>Figura 3.5</b> Aplicando desmoldante a los moldes de los bloques .....	33
<b>Figura 3.6</b> Tareando los insumos para la mezcla.....	33
<b>Figura 3.7</b> Ingreso de los materiales a la mezcladora .....	34
<b>Figura 3.8</b> Compactación de probetas y bloques .....	34
<b>Figura 3.9</b> Enrase de los bloques .....	34
<b>Figura 3.10</b> Desmoldeo de las probetas .....	37
<b>Figura 3.11</b> Probetas en la Cámara de curado .....	38
<b>Figura 3.12</b> Secado superficial para ensayo de rotura .....	38
<b>Figura 3.13</b> Rotura de probetas.....	38
<b>Figura 3.14</b> Geometría del bloque en diseño .....	39
<b>Figura 3.15</b> Desencofrando los bloques.....	39
<b>Figura 3.16</b> Transportando los bloques para dimensionarlos .....	40
<b>Figura 3.17</b> Dimensionando bloques .....	40
<b>Figura 3.18</b> Mortero para rellenar los alveolos.....	41
<b>Figura 3.19</b> Alveolos rellenos.....	41
<b>Figura 3.20</b> Tamizando el yeso y cemento para preparar el capeado .....	42
<b>Figura 3.21</b> Preparando la superficie donde se capearán los bloques.....	43
<b>Figura 3.22</b> Cambiando de cara para capear.....	43
<b>Figura 3.23</b> Rotura de bloque .....	44
<b>Figura 3.24</b> Punto de fractura .....	44

<b>Figura 3.25</b>	Dimensionamiento de las pilas.....	45
<b>Figura 3.26</b>	Verificando espesor de 1.5cm de las juntas .....	46
<b>Figura 3.27</b>	Verificando nivel de las pilas .....	46
<b>Figura 3.28</b>	Juntas fraguando.....	46
<b>Figura 3.29</b>	Verificando nivel del capeo de pilas .....	47
<b>Figura 3.30</b>	Pilas capeadas listas para ensayos .....	47
<b>Figura 3.31</b>	Ensayo de pilas.....	48
<b>Figura 3.32</b>	Rotura de pilas.....	48
<b>Figura 3.33</b>	Tipo de rotura de pilas.....	49
<b>Figura 3.34</b>	Fabricación de sistema para ensayar permeabilidad .....	51
<b>Figura 3.35</b>	Ensayo de permeabilidad - carga variable.....	52
<b>Figura 3.36</b>	Obtención de un volumen en un tiempo determinado.....	53
<b>Figura 3.37</b>	Pesando el bloque saturado .....	54
<b>Figura 3.38</b>	Ingresando el bloque al horno para el secado .....	54
<b>Figura 3.39</b>	Pesaje del bloque secado al horno.....	55
<b>Figura 3.40</b>	Esquemmatización del flujo del sonido.....	56
<b>Figura 3.41</b>	Sistema para ensayo acústico .....	56
<b>Figura 3.42</b>	Medición de decibeles .....	56
<b>Figura 3.43</b>	Curva Esfuerzo-Deformación .....	57
<b>Figura 4.1</b>	Ensayo granulométrico.....	58
<b>Figura 4.2</b>	Esquemmatización de la aplicación de la carga en la pila .. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Figura 5.1</b>	Curvas de madurez de cada densidad elaborada .....	81
<b>Figura 5.2</b>	Curva de frecuencias y decibeles obtenidos.....	87
<b>Figura 9.1</b>	Aditivo sika lightcrete .....	96

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 01:</b> Aditivo Sika Lightcrete .....	96
<b>Anexo 02:</b> Máquina espumógena .....	97
<b>Anexo 03:</b> Formato para la rotura de probetas de concreto celular.....	105
<b>Anexo 04:</b> Formato para alabeo y dimensionamiento de la producción de los bloques de concreto celular:.....	106
<b>Anexo 05:</b> Formato para la rotura de pilas de bloques de concreto celular: .....	106
<b>Anexo 06:</b> Formato para la rotura de bloques de concreto celular:.....	107
<b>Anexo 07:</b> Formato para medir la permeabilidad del concreto celular mediante .... carga variable: .....	108
<b>Anexo 08:</b> Formato para medir la permeabilidad del concreto celular mediante .... carga constante: .....	109
<b>Anexo 09:</b> Formato para medir el porcentaje de absorción de los bloques de concreto celular: .....	109
<b>Anexo 10:</b> Formato para medir los decibeles en ambas caras del bloque de concreto celular – emisor y receptor: .....	109
<b>Anexo 11:</b> Curvas Carga vs Tiempo de cada bloque: .....	109
<b>Anexo 12:</b> Curvas Carga vs Tiempo de cada pila: .....	112
<b>Anexo 13:</b> Fichas técnicas de otros fabricantes de bloques de concreto convencional	113

## RESUMEN

En la actualidad en el Perú se utilizan ladrillos y bloques de concreto convencional para la construcción de tabiques y elementos no portantes. A pesar de su extendido uso, estos materiales no tienen un buen desempeño a la hora de funcionar como aislantes acústicos, al mismo tiempo que presentan un peso elevado. La presente investigación busca diseñar y ensayar bloques de concreto celular, que es un tipo de concreto con una menor densidad, para luego comparar sus propiedades físicas y mecánicas con bloques de concreto convencional. Para la elaboración de los bloques de concreto celular, se realiza un diseño de mezcla sin agregado grueso y con un aditivo espumante, el cual es incluido en la mezcla con el uso de una máquina especial. Las variables que se analizan y comparan son las propiedades de aislamiento acústico, permeabilidad, absorción y también la resistencia a la compresión. Los resultados muestran que los bloques de concreto celular tienen casi el doble de absorción de agua que los de concreto convencional. El coeficiente promedio de absorción acústica resultó significativamente mayor en los bloques de concreto celular, lo cual lo posiciona como una excelente opción para aislar ambientes.

### **Palabras clave:**

Concreto celular. Concreto de baja densidad. Aislante acústico en edificaciones. Alternativas a bloques de concreto. Bloques de concreto celular. Tabiquerías de bloques de concreto. Alternativas para tabiquerías.

## **ABSTRACT**

Currently in Peru, conventional bricks and concrete blocks are used for the construction of partition walls and non-load-bearing elements. Despite their widespread use, these materials do not perform well as acoustic insulators, while also presenting a high weight. This research aims to design and test cellular concrete blocks, which are a type of concrete with lower density, and then compare their physical and mechanical properties with those of conventional concrete blocks. To produce the cellular concrete blocks, a mix design without coarse aggregate is used along with a foaming agent additive, which is included in the mix using a special machine. The variables analyzed and compared include acoustic insulation properties, permeability, absorption, and compressive strength. The results show that cellular concrete blocks have nearly double the water absorption of conventional concrete blocks. The average coefficient of sound absorption was significantly higher in cellular concrete blocks, positioning them as an excellent option for isolating environments.

### **Keywords:**

Cellular concrete. Low-density concrete. Acoustic insulation in buildings. Alternatives to concrete blocks. Cellular concrete blocks. Partitions with concrete blocks. Alternatives for partitions.

# INTRODUCCIÓN

La presente investigación es una nueva alternativa a la construcción peruana, dado que hasta el día de hoy en el Perú no se tiene propuestas para ejecutar muros con otros elementos que no sean los ladrillos, bloques de silicato de calcio y bloques de concreto convencional. Por esta razón, se introduce un concepto, no moderno para la actualidad, pero sí para el Perú. El diseño de concreto celular para la fabricación de bloques que serán destinados a la elaboración de mamposterías no portantes o tabiquerías. Con lo cual se tiene esperado una reducción sustancial del peso frente a cualquier otro material. Sin embargo, el punto de comparación es con los bloques de concreto convencional, puesto que los bloques de concreto celular presentan, adicional a un peso inferior, mejores características para una edificación, como la absorción del sonido, aislación del sonido y permeabilidad. Asimismo, el hecho de que el concreto celular tenga un menor peso frente a un bloque de concreto convencional conlleva una mejor trabajabilidad y por ende un mejor rendimiento desde el traslado de los bloques hasta la ejecución de estos. Tampoco supone la necesidad de tener mano de obra calificada para su manipulación o un mortero especial para su adición como es el caso de los bloques de silicato de calcio. Además, al ser más liviano y no poseer agregado grueso, se disminuye el costo de producción frente al bloque de concreto convencional.

# 1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES

## 1.1 Planteamiento del problema

En la norma E.070 de albañilería se define tabique como muro no portante de carga vertical. Esto significa que no es un muro con función estructural, que vaya a soportar cargas. La tabiquería se usa principalmente para dividir ambientes. Por esta razón existe una diversidad de materiales que se usan para elaborar muros tabiques. En boga en el Perú, se encuentra el uso de ladrillos, bloques de concreto o de silicato de calcio. Estas unidades de tabiquería tienen un peso considerable que afecta inclusive el diseño estructural de la edificación, dado que, si se reduce la carga muerta de los muros de tabiquería, se podrían considerar secciones menores de cimentación. Asimismo, el peso influye directamente en el tiempo y costos de ejecución de estos muros. Esto es debido a que la trabajabilidad y rendimiento es proporcional al peso y manejabilidad de las unidades de tabiquería, ya que, por ejemplo, no es lo mismo ejecutar un muro con bloques de silicato de calcio y otro con bloques de concreto convencional. Los costos, rendimiento y tiempos de ejecución son distintos en ambos casos (Liu, X. et al. 2022).

En relación con el tiempo, los rendimientos son más bajos mientras más dificultosa sea la trabajabilidad según el material, pues en algunos casos se requiere la intervención de mano de obra especializada para la ejecución de dicha tabiquería. Esto incurre en un aumento en la programación de obra. Un rápido acercamiento respecto a los rendimientos mencionados anteriormente puede ser corroborado con la Cámara Peruana de la Construcción, ya que en cuanto a sus publicaciones incluyen el rendimiento mínimo y rendimiento promedio de la mano de obra para distintas partidas. En este caso el de interés recae en los rendimientos de la partida muros y tabiques de albañilería donde se encuentran los ladrillos y bloques sílico calcáreos. Se tiene en promedio para muros menores a 2m de longitud, 337 piezas por día; muros entre 2m y 4m de longitud, 374 piezas rendimiento diario; muros mayores a 4m de longitud, 404 piezas rendimiento diario; y finalmente un promedio total de 372 piezas rendimiento diario, cabe resaltar que el rendimiento diario corresponde a una jornada de 8 horas. En la actualidad dentro de la industria de la construcción peruana, no hay un material para elaborar un bloque que incluya las mismas propiedades mecánicas y físicas, que tenga un peso sustancialmente

menor a la hora de elaborar un bloque y que tenga un costo inferior a las unidades de tabiquería que se encuentran en boga en el Perú (CAPECO, 2003).

## **1.2 Preguntas de investigación**

¿Cuáles son las características físicas y mecánicas que hacen que un bloque de concreto celular sea más competitivo frente a un bloque de concreto convencional para tabiquería, utilizado actualmente en la industria de la construcción peruana?

## **1.3 Justificación del tema elegido**

La innovación en la industria de la construcción peruana en el ámbito de nuevas materias tecnológicas lleva al desarrollo de un concreto celular para la elaboración de unidades de tabiquería y relleno. Su aplicación es principalmente en las edificaciones remplazando los bloques de concreto convencionales. Cabe resaltar que, pese al uso del concreto celular en otros países, el Perú aún no lo pone en servicio dado que las normativas, disponibilidad de materiales, rentabilidad y costos no están estudiados y limitan el uso que se puede generar y aprovechar. Esto genera un beneficio intrínseco respecto a las propiedades físicas y mecánicas que presentan los bloques de concreto celular para el cliente y el proveedor. Asimismo, el uso de un concreto ligero tiene una repercusión importante a la hora de elaborar un presupuesto general de proyecto, ya que al ser más liviano implica un menor consumo de insumos para su desarrollo, dado que el rendimiento del personal es mayor al no tener unidades pesadas, la fabricación obvia, el agregado grueso, etc. También por tener propiedades acústicas superiores, representan una ventaja significativa respecto a los bloques de concreto convencionales, e indirectamente es beneficioso para el medio ambiente, dado que no se necesita agregado grueso y la cantidad de materiales para su fabricación disminuyen considerablemente dependiendo a la densidad deseada.

Los aportes que brinda el uso del concreto celular para elaborar bloques abren una nueva perspectiva en la industria de la construcción. Se puede afirmar que existe una reducción significativa en la carga muerta referido a los muros no portantes. Con esto, realizando una comparativa en el cálculo estructural, se puede llegar a obtener cimentaciones de menor sección. Esto a su vez reduciría enormemente el presupuesto del proyecto. Además, tan solo la aplicación en muros internos no portantes mejora el

aislamiento acústico con respecto a otros materiales que se usan actualmente como los ladrillos o bloques de concreto convencional.

El concreto celular en sus diversas presentaciones tiene excelentes propiedades acústicas. Esto es debido a su estructura celular. La estructura celular porosa del concreto se logra gracias al aditivo que se le agrega para su elaboración. Este aditivo genera poros distribuidos de manera regular. El resultado de esto es un material con propiedades termoaislantes y acústicas diez veces mayores que el concreto convencional (Rengifo & Yupangi, 2013).

Otro cambio que resulta de la estructura porosa del concreto es su comportamiento térmico. La transferencia de calor en el concreto celular se ve aminorada por la presencia de los poros. Estos son generados por el aditivo que genera espacios vacíos de aire. Los espacios vacíos evitan la transferencia de calor por convección y dejan únicamente la transferencia por conducción. Esta transferencia por conducción se va perdiendo a medida que atraviesa el concreto y se pierde hasta llegar al núcleo (García 2014).

Por otro lado, otro beneficio que involucra a la configuración de la estructura del concreto es la propiedad acústica. El concreto celular absorbe de manera eficaz la energía acústica y también es un buen aislante. Es muy importante resaltar que absorber el sonido es totalmente distinto a la propiedad de aislación acústica. Los materiales absorbentes, en este caso el concreto celular, limitan la resonancia producto del sonido. Por otra parte, la propiedad de aislación acústica evita la transmisión del sonido de un punto a otro. El concreto celular posee un buen desempeño en ambas propiedades (Rengifo & Yupangi, 2013).

Los aportes a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) se enfocan en la ODS número 11. Esta menciona ciudades y comunidades sostenibles. Esto se debe a que el uso del concreto celular implica un inferior consumo de materiales de construcción como los agregados. Esto se da como el resultado de que para la elaboración del concreto celular no se necesita agregado grueso. Esto es un beneficio, ya que los agregados gruesos se obtienen a partir de la explotación de canteras. El impacto ambiental generado es menor al fomentar esta tecnología que adopta procesos industriales para su elaboración, de cierta forma limpios y racionalmente ambientales. En síntesis, se apunta hacia las metas 11.1 y 11.b de la ODS 11.

## **1.4 Alcance de la investigación**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo. Se busca especificar las diversas propiedades y características tanto físicas como mecánicas del concreto celular. Las características físicas estudiadas son el aislamiento acústico, permeabilidad y absorción. Las características mecánicas refieren a las propiedades de resistencia a la compresión ( $f_c$ ). Estas propiedades se obtienen en base a distintos datos cuantificables que son obtenidos a través de ensayos de prueba y error.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

El enfoque respecto al diseño del concreto celular para la producción de bloques y su posterior comparación con bloques de concreto convencional. Cabe mencionar que después del diseño del concreto celular con una densidad determinada, se deben obtener factores de permeabilidad y aislamiento acústico. Estas son las únicas propiedades físicas de interés. Por otro lado, también se conseguirá factores y valores de resistencia, estas últimas son las propiedades mecánicas de interés. Con esto se deja de lado el estudio del impacto al cálculo estructural, el confinamiento de las tabiquerías, estudios sismorresistentes, etc.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Diseñar un concreto celular para la elaboración de bloques, describir sus propiedades físicas (Aislamiento acústico, absorción, permeabilidad) y mecánicas (Resistencia a la compresión), y compararlo con las propiedades de los bloques de concreto convencional.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Realizar distintas dosificaciones de concreto celular para seleccionar la más idónea respecto a una densidad base de 2400 kg/m<sup>3</sup> del concreto normal.
- Medir la resistencia a compresión axial del concreto celular en sus diferentes densidades, abarcando probetas, bloques y pilas.
- Calcular el aislamiento acústico y el coeficiente de permeabilidad de los bloques de concreto celular.

-Comparar la absorción de agua del bloque de concreto celular con el bloque de concreto convencional

## **1.7 Hipótesis**

Las hipótesis son las siguientes:

- 1) “Las características de los bloques de concreto celular presentan mejores propiedades tanto físicas como mecánicas frente a los bloques de concreto convencional”.
- 2) “La ejecución de una tabiquería con bloques de concreto celular presenta un mejor rendimiento que una tabiquería con bloques de concreto convencional, ya que presenta un peso sustancialmente menor y genera una alternativa más ventajosa”.
- 3) “El costo de producción de un bloque de concreto celular es menor en comparación a un bloque de concreto convencional, con lo cual presenta una mejor alternativa a la hora de realizar un presupuesto base”.
- 4) “La densidad idónea, en la cual se obtiene una buena trabajabilidad a la vez que una buena resistencia para un concreto celular es entre 900 y 1400 kg/m<sup>3</sup>”.

## **1.8 Estado del arte**

El estado del arte se centra en las características de los bloques de concreto celular y su comparación con otros bloques fabricados con diferentes materiales. También se busca identificar alternativas para las unidades de tabiquería. Se revisó una gran cantidad de información relacionada al tema. Es importante resaltar que no existe mucha información de nuestro país. Esto se debe a que el concreto celular es una tecnología que ha tenido casi nula aplicación en la nación. A pesar de esto, el concreto celular no es una opción novedosa en otros países y mucho más común en otros continentes como el europeo.

Como primer antecedente se tiene un diseño de concreto celular en México. El estudio se centra en la factibilidad del concreto celular. Se tiene planteado como objetivo general realizar un análisis de los diversos materiales de construcción. Se busca dar recomendaciones y alternativas para construcciones futuras. En los principales hallazgos, se tuvo el coeficiente térmico y acústico del concreto celular y su rentabilidad referido al costo. Cabe precisar que la conclusión señala que el concreto celular tiene diversas aplicaciones en el mundo de la construcción (Borbon, 2020, p.4).

Otro antecedente importante es el de las alternativas para sustituir materiales tradicionales en la construcción. Como objetivo se tuvo la comparación de la resistencia y durabilidad entre el concreto celular y el concreto convencional. Los autores obtuvieron como principal hallazgo que la durabilidad en ambos casos es larga. Esto se debe a que el tiempo no es un factor de desgaste para un bloque de concreto celular. Asimismo, en las conclusiones presentan el concreto celular como una alternativa viable y con un alto beneficio económico (Names, 2019, p.7).

La investigación de Liu se enfoca en el comportamiento del concreto celular en el tiempo. Para controlar la durabilidad del concreto celular posterior a su fraguado, se debe controlar la calidad de este durante el fraguado. Teniendo como objetivo el control del vertido del concreto y medición de la resistencia superficial-profunda gradualmente. Como principal hallazgo se tuvo un mejor comportamiento después del fraguado. Se previnieron las grietas y se mantuvo una calidad óptima de los bloques de concreto celular (Liu, 2022, p.6).

En una investigación llevada a cabo en Brasil en 2018, se evalúa el efecto que tiene la dosificación del aditivo espumante en las propiedades de la mezcla de concreto celular. Se determina que tiene una influencia directa en la formulación, trabajabilidad, densidad y resistencia del concreto celular. En la investigación se prueban diferentes dosificaciones de aditivo en función de la densidad del concreto. Se llevaron a cabo varias pruebas para evaluar las propiedades de los especímenes de concreto elaborados con las distintas dosificaciones de aditivo. Se encontró que el contenido de aire en burbujas se incrementa considerablemente con el incremento de la dosificación del aditivo. La máxima resistencia a la compresión obtenida en la investigación fue de 19.5 MPa (Oliveira., et al, 2018).

En la investigación de Panesar, se estudia la microestructura del concreto celular. Se determina que la microestructura tiene implicancias en el desarrollo de la resistencia, propiedades de transporte y módulo de elasticidad del concreto celular. Se elaboraron 13 probetas de concreto celular para ser ensayadas, variando el contenido de aire de 6% a 35%. Asimismo, se utilizaron 3 agentes espumantes diferentes. Se midieron propiedades como slump, contenido de aire y densidad plástica resistencia a la compresión y resistencia térmica. Se determinó que el agente espumante tuvo un efecto importante en las propiedades físicas del concreto, mas no en las propiedades mecánicas. Esto es

importante ya que el concreto celular se presenta como una gran alternativa justamente debido a estas características que lo separan del concreto convencional (Panesar, 2013).

En el estudio de Jitchaiyaphum, se abordan directamente las propiedades generales del concreto celular. Se elaboraron muestras con diferentes diseños de mezcla adicionando ceniza volante. Se espera que la ceniza volante reemplace al contenido de cemento. Se elaboraron mezclas donde la ceniza volante reemplazaba el contenido de cemento en 10%, 20% y 30%. Los resultados mostraron que la inclusión de ceniza volante en la mezcla significó siempre un aumento en la resistencia a la compresión del concreto celular. Esto se debe a que la ceniza volante afecta el decrecimiento del tamaño de los poros, causando un aumento en la resistencia (Jitchaiyaphum, 2011).

Existe una relación directamente proporcional entre la densidad de los bloques de concreto celular y su resistencia a la compresión máxima. A medida que la densidad aumenta, la resistencia a la compresión también lo hace, y viceversa. A pesar de tener una resistencia inferior en comparación con el concreto convencional, los bloques de concreto celular destacan por su manipulabilidad, con una reducción de peso significativa del 32.2% en comparación con los bloques de concreto convencional. Asimismo, los resultados de las resistencias fueron de acuerdo a lo diseñado, teniendo una variación máxima del 12%, lo cual es respaldado por el ACI. Esta notable ventaja facilita su transporte y colocación sin riesgo de agrietamientos, convirtiéndolos en una opción versátil donde la manipulación sencilla sea esencial. Su durabilidad también es un factor importante y dependerá exclusivamente de su proceso de fabricación y curado.

La absorción medida en el concreto celular reveló una característica distintiva de este material en comparación con el concreto convencional. Debido a su estructura porosa, el concreto celular exhibió una absorción considerablemente mayor, bordeando el 23.75% de su peso, mientras que la absorción del concreto convencional fue del 12% aproximadamente. Esta diferencia significativa en los porcentajes subraya la importancia de seleccionar el tipo de bloques de concreto en función de las necesidades específicas del proyecto. Con una absorción sustancialmente mayor en el concreto celular, es esencial considerar este factor al elegir el material más adecuado para una aplicación particular. Esto resalta la versatilidad y adaptabilidad del concreto celular en diversas condiciones de construcción, ofreciendo una gama amplia de posibilidades para proyectos tanto residenciales como comerciales.

## 2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Conceptos teóricos

#### 2.1.1 Diseño de mezcla de concreto

El diseño consiste en elaborar una mezcla de concreto con relaciones iniciales y calculadas previamente. Se busca definir las cantidades y proporciones para obtener las propiedades deseadas. Cabe mencionar que las proporciones con las cuales se desarrolla el concreto y cumplan con las características deseadas y con los materiales optados, se obtienen a través de un sistema de reajuste. Esto significa que se presentan repeticiones experimentales de prueba y error. Asimismo, el diseño puede contener aditivos o adiciones. Existe más de un método para generar el diseño de mezcla, dependiendo de las propiedades en las que se quiera enfocar (Muciño, A. 2017).

#### 2.1.2 Las adiciones

Son productos de origen mineral con una fineza bastante dividida. La incorporación de adiciones sobre la mezcla de concreto tiene como único fin reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Este resulta de la hidratación del cemento con el agua. Algunos ejemplos de adiciones comúnmente usadas en los diseños de mezcla de concreto son ceniza volante, fibras, polímeros, escoria de alto horno y micro sílice (ver imagen 2.1). Se utilizan para mejorar las propiedades del concreto, por ejemplo, resistencia a la compresión, trabajabilidad, durabilidad, entre otros.

#### Figura 2.1

Adición de micro sílice (silica fume)



Nota. Por Allcarbon, 2017 (<https://www.allcarbon.info/what-is-silica-fume-microsilica/>)

### **2.1.3 Los aditivos**

Se definen de acuerdo con la Norma ASTM C125 como “Un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, reacciona químicamente con el agua para modificar las propiedades de los concretos o morteros en estado fresco o endurecido”. Los aditivos son químicos en polvo o en estado líquido que se le añaden al concreto cuando se encuentra en su estado fresco. Los aditivos tienen como objetivo modificar las características del concreto. Las propiedades que modifican son comúnmente la resistencia a la compresión, la trabajabilidad, la impermeabilidad y retardantes o acelerantes de fraguado, aunque hay muchos más. En la presente investigación se utiliza un aditivo que sirve para añadir espuma a la mezcla de concreto. Es importante destacar que el uso de los aditivos es únicamente justificable si se detallan razones técnicas y que puedan perjudicar la economía de la producción, dado que existen determinadas características del concreto en estado fresco o endurecido que no pueden lograrse sin aditivos.

### **2.1.4 Generador de espuma**

Para generar la estructura celular del concreto celular existen diferentes métodos, pero en la presente investigación se incluyó el aire mediante el uso de aditivos, más específicamente, un aditivo espumante (creador de espuma). Existen también diferentes formas de generar la espuma. Se puede agregar el aditivo espumante directamente a la mezcla de concreto y que reaccione con el agua. Otro método es el de mezclar el aditivo con agua aparte y añadir a la mezcla la espuma ya formada. Pero el método que se utilizó en la presente investigación es el de generar la espuma haciendo uso de una máquina compresora de aire (ver figura 2.2). Este método tiene como beneficio la creación de una espuma mucho más homogénea y consolidada a comparación de sólo mezclar el aditivo (ver Anexo 01) y el agua a mano. La máquina compresora de aire que se utilizó fue la “Definite Purpose Compressor Motor” de la marca Dayton (ver Anexo 02). A esta máquina se le introduce el volumen de agua y aditivo designados, luego la máquina los comprime hasta una presión de hasta 100 psi, generando la espuma (ver figura 2.3).

**Figura 2.2**

Generador de espuma



**Figura 2.3**

Espuma generada



### **2.1.5 Concreto Celular**

El concreto celular es un concreto ligero que tiene una densidad entre 300 kg/m<sup>3</sup> hasta 1800 kg/m<sup>3</sup>, estos límites varían según los criterios de diferentes autores. Esta menor densidad se debe a que contiene poros en su interior, y a que generalmente no tiene agregado grueso. Para crear los poros se debe incorporar burbujas de aire a la mezcla de concreto. El concreto celular puede tener entre 10% y 70% de aire. La resistencia del concreto celular está directamente relacionada con su densidad, a mayor densidad, mayor resistencia a la compresión (Panesar, D., et al., 2013).

El concreto celular al ser más ligero que el concreto convencional, agiliza su manipulación. Esto resulta en una economización del proceso constructivo de las estructuras. Se aumenta la trabajabilidad, se reducen los tiempos de construcción e incluso se reducen los riesgos. Esta ligereza también permite reducir la carga muerta de

las estructuras. Se sabe que el concreto celular tiene una mejor capacidad de absorción de ondas de choque que el concreto convencional. El concreto celular fresco es bastante fluido. Esto se debe a las burbujas de aire que contiene, lo cual facilita los procesos de vertido y transporte de este.

Existen diferentes tipos de concreto ligero. Un método de fabricación consiste, por ejemplo, en omitir el agregado fino de la mezcla, dejando solamente el agregado grueso (piedras). Al usar solo piedras se generan vacíos entre ellas, logrando así un concreto más ligero. Pero el método a tratar en esta investigación es el de concreto con aire inducido. Este concreto tiene una consistencia fluida y tiene pequeños poros de aproximadamente 1 mm de diámetro en su interior. El aire inducido se obtiene mediante el uso de un aditivo generador de espuma, que asegura que el aire se distribuya de manera uniforme en la matriz del concreto.

El concreto celular, debido a su estructura espumosa y a los poros que posee, se comporta como un excelente aislante acústico. También el concreto celular, es un excelente aislante térmico. Se estima que la transmitancia térmica de un bloque es alrededor de 0.15 w/mk. Este valor es muy bajo en comparación a un bloque fabricado con concreto convencional, que tiene una transmitancia térmica estimada promedio de alrededor de 1.15 w/mk. El concreto celular, aparte de esto, también tiene una alta resistencia al fuego. Puede resistir la exposición directa al fuego por mucho más tiempo y a temperaturas más altas que el concreto convencional. Gracias a estas características, el concreto celular es un excelente material para construcciones antincendios.

#### **2.1.6 Tecnología de los bloques de concreto celular**

Los bloques de concreto celular son elementos prismáticos con dimensiones establecidas de acuerdo con las necesidades del cliente. Estos pueden ser huecos o macizos para que se adapten a la fácil manipulación del operario (ver figura 2.4). Los materiales que intervienen para la fabricación de los bloques son los ya mencionados anteriormente. A pesar de esto, el equipo tiene una variable adicional para obtener los bloques, el cual es el molde. La forma es un prisma rectangular para obtener la forma de un paralelepípedo. Al molde se le añaden las formas de los alveolos.

## Figura 2.4

### *Bloques prismáticos*



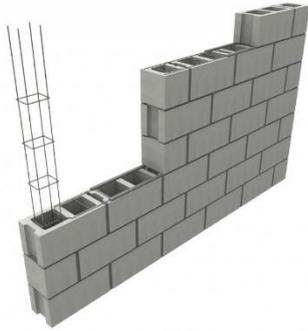
### **2.1.7 Sistema de tabiquería**

Los bloques de concreto celular se pueden emplear para la construcción de muros interiores que no están sometidos a cargas. Los muros son no estructurales y únicamente servirán para la división de áreas. Estos muros difieren del sistema de albañilería confinada cuyo fin es ser un muro portante (ver figura 2.5). Retomando el sistema de tabiquería con bloques de concreto celular, se requerirán refuerzos verticales que vayan a cada cierta longitud del muro. Estos refuerzos se deben colocar dentro de los alvéolos de cada bloque. También se deben ubicar refuerzos horizontales, ubicados en las juntas, únicamente cuando sea necesario.

Es importante destacar un beneficio muy importante con esta unidad de tabiquería, el cual es el peso de los bloques. Al ser más livianos conllevan una mejor trabajabilidad y eficiencia a la hora de ejecutar un muro. Se reducen los tiempos de levantamiento y no requiere un mortero especial para unir cada bloque a diferencia de un sílico calcáreo, por ejemplo. Asimismo, la transmisión acústica a través de los muros es un problema cada vez más recurrente en las edificaciones modernas. Otro problema que aqueja especialmente a las zonas de climas extremadamente fríos o cálidos es la poca aislación térmica de las estructuras. Con el uso de concreto celular se tiene una mejora sustancial, ya que tiene un mayor número de espacios vacíos dentro de cada bloque además de los alveolos.

## Figura 2.5

### *Tabiquería de bloques de concreto*



### **2.1.8 Propiedades físicas y mecánicas del concreto**

El concreto presenta determinadas características físicas y mecánicas. Estas propiedades como en cualquier otra mezcla presentan diferentes valores a medida que varían las dosificaciones y componentes. Se denomina propiedades físicas a los cambios en las características físicas de un sistema, en este caso del concreto, y se describe sus transformaciones en determinados intervalos de tiempo. Las características físicas son por ejemplo la transmitancia térmica o la absorción acústica. Por otro lado, las propiedades mecánicas son aquellas que inciden directamente a la resistencia mecánica que tienen los materiales y la capacidad de estos cuando son sometidos a una determinada carga. En otras palabras, son aquellas propiedades que tiene el concreto relacionadas con la capacidad de resistir y transmitir esfuerzos y consecuentemente deformaciones.

### **2.1.9 Fraguado**

El fraguado se refiere al proceso mediante el cual el concreto pasa de su estado fresco al estado endurecido. Es un proceso físico y químico en el cual los componentes del concreto reaccionan entre sí formando una matriz rígida. Esto ocurre debido a la hidratación del cemento. El tiempo de fraguado varía y depende de diversos factores como pueden ser el diseño de mezcla, el uso de aditivos, la cantidad de agua e incluso factores ambientales (Pellenq, R., et al., 2004).

## **2.2 Características del agregado fino**

Para el diseño de un concreto es fundamental saber las características de los agregados que se encuentran presentes en la mezcla, ya que esta puede contener agregado grueso y

fino, o solo uno de estos dos tipos de agregado como es el caso del concreto celular, el cual únicamente lleva agregado fino. Los ensayos que se realizan a los agregados determinan la caracterización y propiedades de estos, ya que los agregados influyen directamente sobre las propiedades del concreto cuando este se encuentre en estado fresco y en estado endurecido. Por lo cual, se enfatizará en los ensayos que se deben realizar a los agregados finos.

Existen diversos ensayos que permiten la caracterización y obtención de las propiedades de estos, sin embargo, en la investigación presente se tomará como referencia principal los ensayos que se encuentran en la Norma Técnica Peruana 400.012 (NTP 400.012), la cual indica sobre el ensayo granulométrico; la Norma Técnica Peruana 400.017 (NTP 400.017), la cual trata sobre el ensayo de pesos unitarios; la Norma Técnica Peruana 339.185 (NTP 339.185), indica el ensayo para determinar el porcentaje (%) de humedad que poseen los agregados; y la Norma Técnica Peruana 400.021 – 400.022 (NTP 400.021 – 400.022), la cual trata sobre el ensayo para determinar la absorción y el peso específico de los agregados. Es importante mencionar que las normas técnicas peruanas, aluden a la normativa de instituciones altamente reconocidas internacionalmente como AASTHO y ASTM.

### **2.3 Diseño y producción del concreto convencional**

El diseño del concreto convencional tiene una serie de pasos a seguir, las cuales se detallarán a continuación en base al manual del ACI PRC-211.1-22 (Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete – Guide).

Los pasos para la selección de las dosificaciones de la mezcla son para un concreto de peso normal, es decir con una densidad aproximada de 2400 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, se puede emplear la misma secuencia para concretos de altas densidades (Concreto Pesados). Como una primera instancia se puede partir si es que se tienen algunas especificaciones técnicas para el diseño como:

- Contenido mínimo de cemento
- Relación máxima de agua-cemento (a/c)
- Contenido de aire
- Resistencia

- Tamaño máximo de los agregados
- Concretos de alta resistencia
- Concretos especiales

Ya que normalmente se parte de una necesidad que alguna propiedad física o mecánica del concreto tiene que cubrir. En caso de no tener ninguna especificación técnica, el diseño de concreto puede partir de siguiente forma:

- Paso 1: Selección del Slump
- Paso 2: Selección del Tamaño Nominal Máximo (TNM) del agregado
- Paso 3: Estimar el contenido de agua y aire (a y w) contenidos en la mezcla
- Paso 4: Selección de la relación agua-cemento (a/c)
- Paso 5: Cálculo del contenido de cemento
- Paso 6: Estimación del contenido de agregado grueso
- Paso 7: Estimación del contenido de agregado fino
- Paso 8: Resumen de pesos de diseño
- Paso 9: Ajustes por humedad
- Paso 10: Ajustes a la mezcla

#### **2.4 Diseño y producción del concreto celular**

El diseño del concreto celular tiene determinadas etapas las cuales se detallarán a continuación en base a la guía del ACI 523.3R – 14 (Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft<sup>3</sup> - 800 kg/m<sup>3</sup>).

Se puede diseñar el concreto basándose en la resistencia a la compresión deseada. También se puede diseñar basándose en la densidad buscada. Para esta investigación, siendo que los bloques fabricados serán utilizados en tabiquería o muros no portantes, el diseño de mezcla se realizó en base a la densidad deseada. Según la guía del ACI mencionada anteriormente, para elaborar el diseño de mezcla partiendo de la densidad se debe proceder como se lista a continuación:

- Paso 1: Selección de la densidad deseada
- Paso 2: Cálculo de la resistencia a la compresión en base a la densidad seleccionada.

- Paso 3: Selección de la relación agua/cemento de un rango entre 0.45 y 0.6.
- Paso 4: Cálculo de la relación arena/cemento.
- Paso 5: Cálculo del peso unitario en estado endurecido.
- Paso 6: Cálculo del volumen absoluto de los sólidos.
- Paso 7: Cálculo de la cantidad de aditivo.
- Paso 8: Cálculo de volumen total de materiales.
- Paso 9: Cálculo de volumen de aire requerido por unidad de volumen de concreto.
- Paso 10: Cálculo de volumen de espuma.
- Paso 11: Cálculo de agua en la espuma y agua en la arena.
- Paso 12: Cálculo de agua final en la mezcla.

En la guía también se especifican los pasos para la producción del concreto. A continuación, se listan los pasos para producir el concreto una vez se termine con el diseño:

- Paso 1: Se agrega una parte del agua a la mezcla.
- Paso 2: Se agrega la arena.
- Paso 3: Se agrega el cemento.
- Paso 4: Se agrega el resto del agua.
- Paso 5: Se mezcla el mortero por 90 segundos aproximadamente o hasta lograr a consistencia deseada.
- Paso 6: Se elabora y se agrega la espuma a la mezcla.
- Paso 7: Se mezcla el concreto hasta obtener una mezcla uniforme.

## **2.5 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional**

Para medir las propiedades físicas del concreto se utilizan una gran cantidad de métodos. Para medir la densidad, se pesa un volumen definido de concreto y se halla su masa. Dividiendo los valores de masa y densidad se puede hallar fácilmente la densidad del concreto. Para medir la transmitancia térmica del concreto se puede usar el método de la placa caliente. Este método consiste en medir la cantidad de energía que fluye a través del concreto utilizando dos placas a diferentes temperaturas, que se encuentran en caras diferentes de un bloque de concreto (Asadi, et al., 2018).

Para medir las propiedades acústicas del concreto se pueden utilizar diferentes métodos dependiendo del coeficiente o valor que se quiere obtener. Para medir la transmisión de sonido se genera una fuente de sonido de un lado del elemento de concreto y se mide la cantidad de sonido transmitida al otro lado. Para esta medición se utilizan micrófonos u otros equipos de medición más especializados (Holmes, et al., 2014).

La principal propiedad mecánica del concreto es la resistencia a la compresión. Para hallarla, se elabora una probeta de concreto que luego se pone dentro de una prensa hidráulica. A esta probeta se le aplica presión de una manera progresiva y despacio, buscando evitar que se produzca un efecto de impacto. Se aplica presión sobre la probeta hasta que esta falle. Se registra la presión máxima que resiste la probeta. La resistencia a la compresión va aumentando con el tiempo que lleve el concreto endurecido. Por esta razón, se realizan 3 ensayos, uno a los 7 días de vaciado, otro a los 14 y otro a los 28. Se considera que el concreto llega a su resistencia máxima a los 28 días, sin embargo, se sabe que el concreto aumenta su resistencia en una menor medida por mucho más tiempo.

### **2.5.1 Absorción de agua en el concreto convencional**

Según Cañola, H (2017), la humedad o capilaridad en muros portantes y no portantes, es un proceso que inicia en la absorción y finaliza en la difusión del agua que proviene de distintas circunstancias. Estas circunstancias pueden ser la exposición de los muros al medio ambiente, inundaciones, etc. Siendo la absorción una propiedad que facilita que el agua se eleve a través del material en contacto, por lo cual en base a lo comentado anteriormente, se diseñó un concreto con emulsión asfáltica para fabricar bloques que serán elementos que constituyan el sobrecimiento de las edificaciones, asimismo se ensayaron muestras cilíndricas y bloques para obtener la porosidad, resistencia a la penetración, factores de capilaridad, y la velocidad de absorción que tendrán cada muestra en forma cilíndrica y de bloque. Dando como resultado a partir de 100 bloques y 100 muestras cilíndricas, que el concreto diseñado con emulsión asfáltica, brinda mejores propiedades que el concreto tradicional sin aditivo y/o adiciones, ya que además de que el coeficiente de capilaridad sea bajo, la velocidad de absorción capilar que posee este tipo de concreto fue considerablemente hasta un 76% menor que los valores obtenidos del concreto convencional.

### 2.5.2 Permeabilidad en concretos porosos

Las propiedades de permeabilidad y porosidad en concretos porosos (Vélez, 2010) no necesariamente generan una pérdida directamente proporcional en cuanto a su coeficiente de permeabilidad y estructura porosa del concreto, dado que en la investigación realizada por Vélez, Ligia, Se halló una dosificación y/o relación entre el aglomerado, aglomerante y agua, que permite obtener resistencia elevadas manteniendo la porosidad y permeabilidad excelente en el concreto con un coeficiente  $k=2.342$  mm/s, llegando a resistencias axiales de compresión a los 28 días de 33 MPa. El ensayo principal que realizaron para obtener el coeficiente de permeabilidad fue la aplicación del sistema y Ley de Darcy desde su expresión  $Q = k * i * A$  la cual es la más general. Asimismo, el sistema donde se ensayaron las probetas para calcular dicho parámetro fue de una combinación de tuberías de PVC, plano de referencia arbitrario y válvulas.

#### Figura 2.6

*Concreto permeable*



*Nota.* De Ecocreto, 2016 (<https://concretopermeablestalinguaita.blogspot.com/2016/06/>)

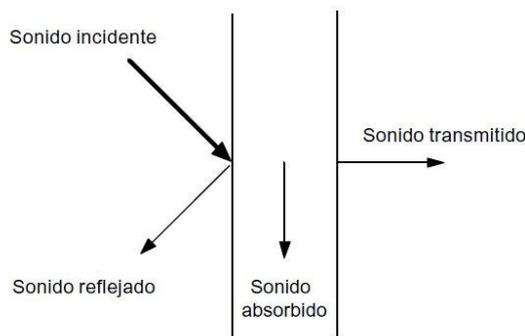
### 2.5.3 Aislamiento Acústico en bloques de concreto convencional

Para conocer el aislamiento acústico de un material, de acuerdo con Boschi, C. (2005), es necesario tener presente dos conceptos muy importantes: Reflectividad y Absorción acústicos. El primero consiste en dividir mediante una barrera física los sectores donde se encuentran fuentes sonoras que se busquen suprimir, mientras que la absorción acústica, busca aprovechar una propiedad intrínseca del material o combinación de materiales, tales que transformen aquella energía sonora producida por una determinada fuente, a una forma insonora de energía. Asimismo, se incidió en que las características

de un material absorbente no coinciden con las de un material absorbente por lo que son incompatibles; y para el ensayo que se realizó con bloques de concreto rellenos de arena, se consideró la norma IRAM-4063, la cual describe el proceso a seguir al momento de ensayar acústicamente el elemento unitario y en conjunto, por lo que se separó dos ambientes con los bloques y en uno de ellos, se emitió una fuente sonora con decibeles y frecuencias pre establecidos, y en el otro ambiente se colocó un medidor de decibeles para medir la variación que tuviesen estas ondas al atravesar los bloques, llegando a la conclusión que si bien tiene una buena capacidad aislante de sonido, mejora notoriamente el coeficiente con un revestimiento en ambas caras del bloque.

### **Figura 2.7**

*Reflectividad y absorción en muros*



### **2.6 Bases teóricas adicionales**

Según Yoc, J. (2018) existe una alteración en la densidad final del concreto en estado seco y en estado fresco. Por otro lado, el uso del concreto celular para la elaboración de los bloques rectangulares, presentan dificultades al momento de verter la mezcla en el molde, ya que la mezcla es bastante fluida y si el molde no es compacto, habrá pérdidas de agua por lo que sugiere un aditivo acelerante, sin embargo, la ventaja es que no requiere una vibración, pues el concreto al ser fluido, se distribuye de manera uniforme. La investigación puede usar otro tipo de molde con fenólico, para poder así evitar cualquier pérdida y desarrollar con normalidad el concreto celular.

De acuerdo con Padilla, J. (2021) desarrolló los bloques de concreto celular para fines estructurales y una aplicación en una vivienda familiar de 3 niveles, ensayando con dos densidades  $1200 \text{ kg/m}^3$  y  $1400 \text{ kg/m}^3$ , con lo cual obtuvo una mayor resistencia con

la densidad de 1400kg/m<sup>3</sup>. Es necesario enfatizar en la estrecha relación que se tiene entre la densidad y la resistencia, pues como se menciona en los resultados, es directamente proporcional la resistencia y la densidad. Esto brinda un amplio panorama para partir de una dosificación intermedia en esta investigación, es decir, analizar en base a estos resultados un posible punto de partida para nuevamente ensayar a prueba y error otras densidades aledañas.

Según Cabrera, M. (2015) la densidad del concreto celular que estudió fluctúa entre 200 kg/m<sup>3</sup> y 1900kg/m<sup>3</sup> algo que marca la diferencia con los concreto convencionales, partiendo de una diversidad de agentes expansores de vacíos como: aditivos espumantes, expansores, etc. También, se subdividen los bloques de concreto como puros, arenados, modificados y con agregados expansivos, sin embargo, este autor enfatizó que, para la formación de estos poros, fue a través de un elemento químico y presentó el polvo de aluminio con el hidróxido de cal, generando una reacción química que produce hidrogeno en forma de burbujas pequeñas, con lo cual se generan los poros. En la investigación siguiente, lo que se busca es otra alternativa que permita una estructura uniforme de poros a través de una maquina especializada que inyecta una determinada cantidad de espuma a la mezcla para que posteriormente se forme los vacíos que le dan el nombre al concreto celular.

Conforme a la investigación de Oliveira, C. (2018) la dosificación del aditivo para elaborar el concreto celular fue evaluada en función de dos parámetros muy importantes: la densidad y la resistencia deseada. Asimismo, su investigación se centra en el estudio de la influencia de distintas dosificaciones del aditivo espumógeno y las propiedades del concreto celular espumado. Es importante mencionar que destacan la relación de aditivo espumógeno y cemento, ya que al ensayar varias dosificaciones esta relación varió bastante y se llegó a una conclusión de que la relación aditivo espumógeno/cemento < 0.1% presenta variaciones significantes en las propiedades del concreto celular.

En la investigación de Narayanan, N., et al., (2000) los autores realizan una revisión sistemática de los artículos elaborados acerca del concreto celular. Los autores clasifican y categorizan los artículos existentes basándose en el foco de cada una de las investigaciones, como pueden ser características físicas, químicas, mecánicas y funcionales. Los autores concluyen que el estado del arte existente a la fecha de la investigación, a pesar de haber cubierto gran parte de las propiedades del concreto celular,

aún se encuentra en un estado precario, ya que existe aún muchas áreas que no han sido estudiadas ni medidas.

En la investigación de Holmes, N., et al., (2014) se llevaron a cabo ensayos de las propiedades acústicas de paneles de concreto elaborados con caucho granulado. Se mide la absorción y el aislamiento del sonido. Los autores realizaron pruebas a diferentes especímenes de concreto elaborados con diferentes diseños de mezcla, variando los contenidos de caucho granulado incluidos. Para medir la transmisión del sonido los autores generaron una fuente de sonido de un lado del elemento de concreto y midieron la cantidad de sonido del otro lado utilizando micrófonos. Los resultados indican que a mayor inclusión de caucho granulado se obtiene una mejor absorción de sonido.



## **3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 Nivel de investigación**

La investigación es de tipo correlacional, ya que el fin es determinar cuál es la relación que existe entre varias variables, en este caso del concreto celular. Se pretende obtener datos que permitan evidenciar como las variables impactan entre sí.

### **3.2 Diseño de investigación**

El diseño de la presente investigación es experimental. Esto es ya que determinadas variables permanecerán constantes mientras que otro conjunto de estas se medirán con la experimentación. Cabe mencionar que es importante destacar la causa/efecto de cada fenómeno estudiando dentro de la experimentación. Para esto es necesario ser preciso al momento de que los efectos observados durante el experimento se deban a la causa previamente planteada. Asimismo, se tiene que confirmar que un cambio directo en la variable dependiente debe exclusivamente a la manipulación que se tuvo con la variable independiente.

### **3.3 Población**

La población en la investigación son los especímenes de concreto celular diseñados previamente y elaborados en masa.

### **3.4 Muestra**

La muestra en la investigación son los estudios y muestras de laboratorios obtenidos a partir de los bloques de concreto celular.

### **3.5 Variables**

- Variable independiente: Diseño de concreto celular a partir de una densidad inicial de 1900kg/m<sup>3</sup>, 1500 kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> y 900kg/m<sup>3</sup>

- Variable dependiente: Propiedades físicas como la permeabilidad, aislamiento acústico, absorción; y mecánicas de los bloques de concreto celular y del concreto convencional

### **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica que se usará para la recolección de datos es de tipo observación experimental. Esto es dado que se elabora con datos obtenidos en condiciones plenamente controladas por el investigador. El investigador puede modificar las variables de acuerdo con lo que se requiera. Asimismo, los instrumentos que recolectarán los datos posteriores a la experimentación son fichas de registro, hojas de los datos obtenidos a través de los distintos ensayos, etc.

### **3.7 Procesamiento de datos e información recolectada**

Para el procesamiento de los datos recolectados se tiene en cuenta 3 fases: recolección de datos, procesamiento e informe de todos los datos recaudados. Este último codifica toda la información ordenándola por medio de programas informáticos, los cuales representan una enorme ventaja de tiempo y dinero, dado que brinda resultados inmediatos posterior a su digitalización.

### **3.8 Ensayos y diseños teórico-prácticos**

#### **3.8.1 Ensayos de caracterización del agregado fino**

Como base para iniciar con el diseño de concreto celular, es necesario conocer de primera intención las características del agregado fino que llevará la mezcla en cuestión. Para esto, se siguió una secuencia de ensayos en el laboratorio de la Universidad de Lima, los cuales se detallarán a continuación:

#### **3.8.2 Ensayo de granulometría**

Para este ensayo se usaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- Agregado Fino (Arena Gruesa)
- Tamices N°4, N°8 , N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200, además del fondo

- Máquina vibratoria para agregado fino
- Balanzas con precisión:  $0.1 \text{ g} < \text{Precisión} < 0.5 \text{ g}$
- Taras para pesar las muestras

Los pasos en este ensayo tuvieron la siguiente secuencia:

- Ordenar los tamices en un orden de menor a mayor número; o de mayor a menor tamaño de abertura, véase la tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

*Orden y número de tamiz usado*

Agregado	Tamices
<b>Fino</b>	N° 4
	N° 8
	N° 16
	N° 30
	N° 50
	N° 100
	N° 200

- Se procedió a separar una muestra de 12 kg del agregado fino mediante cuarteo para secarla en el horno a una temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas.
- Pasado el tiempo en el horno, se procedió a retirar la muestra, se seleccionó 600 gramos y se colocó la misma sobre el tamiz o malla superior.
- El grupo de tamices fueron colocados en la maquina vibradora por 1.5 minutos sin forzar el paso de las partículas.
- Posterior a la vibración, se retiró cada tamiz y se pesó el material retenido respectivamente (ver figura 3.1). Asimismo, se verificó que la suma total de los tamices corresponda al peso inicial de 600 gramos y se tuvo un error de 0.16%, siendo el máximo permisible el 0.3%.

- Se procesaron los datos en una hoja Excel, generando una curva a escala logarítmica en base 10 con un orden de valores inverso y añadiendo los requisitos granulométricos de la NORMA NTP 400.037-2001 (HUSOS).
- Se observó la diferencia del tamaño de partículas después de la toma (ver figura 3.2).

**Figura 3.1**

*Contenido retenido en cada tamiz*



**Figura 3.2**

*Finos separados*



### **3.8.3 Ensayo de peso unitario suelto y compactado**

Para este ensayo se usaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- Cucharón de metal
- Recipientes en forma de cilindro con tamaños normalizados

- Varilla de 5/8” y 60 cm de longitud para compactar
- Combo de caucho
- Balanza

Para el ensayo de peso unitario suelto se tuvo la siguiente secuencia de pasos:

- El recipiente cilíndrico se llena con una parte de la muestra restante del horno y por cuarteo con el cucharón se deja caer dentro del recipiente a una altura de 5cm aproximadamente.
- Una vez lleno, con la varilla de 5/8” se rasa el recipiente cilíndrico
- Posterior al paso anterior, se pesó la muestra en el recipiente y se le restó el peso del recipiente.

Conociendo el peso del volumen del recipiente en m<sup>3</sup> y el peso de la muestra, el peso unitario suelto (P.U.S.) se obtiene con la siguiente relación:

$$P. U. S = \frac{W_{Suelto}(Kg)}{V_{Recipiente}(m^3)} \quad (Ecuación 1)$$

Para el ensayo de peso unitario compactado se tuvo la siguiente secuencia de pasos:

- Con otra parte de la muestra restante del horno y por cuarteo (ver imagen 3.3), con el cucharón se llena hasta la 1/3 parte y con ayuda de la varilla de 5/8” se compacta con 25 golpes, procurando no tocar el fondo del recipiente.
- La siguiente etapa fue llenar 2/3 partes y compactar de la misma forma. Es importante mencionar que para una óptima compactación se tomó 4 cuadrantes laterales arbitrarios y con el combo de caucho se dio 3 golpes en cada uno.
- Posterior al paso anterior, se pesó la muestra en el recipiente y se le restó el peso del recipiente.

Conociendo el peso del volumen del recipiente en m<sup>3</sup> y el peso de la muestra compactada, el peso unitario compactado (P.U.C.) se obtiene con la siguiente relación:

$$P. U. C = \frac{W_{Compactado}(Kg)}{V_{Recipiente}(m^3)} \quad (Ecuación 2)$$

### Figura 3.3

Cuarteo



#### 3.8.4 Ensayo para determinar el porcentaje de humedad en los agregados

Para este ensayo se usaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- Cucharón de metal
- Taras
- Balanza

Para determinar el porcentaje de humedad en los agregados se realizaron los siguientes pasos:

- Se seleccionó una muestra del agregado de 0.5 kg y se puso al horno de 110 °C por 24 horas para conseguir un peso constante, pasado este tiempo se dejó al aire libre por 60 minutos y se pesó la muestra seca.

Conociendo el peso del agregado en estado húmedo-ambiente y el peso en estado seco, el porcentaje de humedad se obtiene con la siguiente relación:

$$H(\%) = \frac{(W_h - W_s)}{W_s} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

H (%): Porcentaje de humedad del agregado ensayado.

Wh: Peso del agregado en estado húmedo.

Ws: Peso del agregado en estado seco.

Wh – Ws: Peso del agua retenida en el agregado en condiciones naturales.

### 3.8.5 Ensayo para determinar el peso específico y absorción en agregados

Para este ensayo se usaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- Balanza
- Recipiente
- Horno

Para determinar el peso específico se siguieron los siguientes pasos:

- Se midió el volumen del recipiente a llenar y luego se pesa una cantidad específica de agregados y se llena el volumen requerido. Con estos datos se obtiene el peso específico de la arena dividiendo el peso sobre el volumen de la muestra.

Para determinar la absorción de los agregados se siguieron los siguientes pasos:

- Se pesó la muestra de agregados inicial seca.
- Se sumergen los agregados en agua por un período de 24 a 48 horas.
- Se retira del agua, se seca superficialmente y se pesa la muestra de agregados.
- Se procede a secar la muestra en un horno hasta que el peso se mantenga constante.
- Se pesa la muestra seca.
- Se llena el picnómetro con agua hasta un nivel propuesto
- Se agita la porción de agregado y agua dentro del picnómetro (ver figura 3.4).
- La absorción de los agregados se calcula mediante la siguiente fórmula:  
$$\% \text{Absorción} = (\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco} * 100.$$

**Figura 3.4**

*Saturando la muestra*



### 3.8.6 Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup>

Para el diseño de concreto celular con una densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup> se consideró uno de los tópicos del ACI /ACI 523.3R-14 que refiere directamente al diseño de concretos de bajas densidades brindado una guía teórica.

En la tabla 3.2 se resume la dosificación para un concreto celular de 1900 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3.2**

*Dosificación para una densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup>*

Dosificación para una densidad de 1900 kg/m <sup>3</sup>			
Material	Unidades	1m <sup>3</sup>	0.02 m <sup>3</sup>
Cemento	kg	364.93	7.55
Arena	kg	1297.87	26.87
Agua	Litros	237.20	4.91
Espuma	kg	13.59	0.28

### 3.8.7 Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 1500 kg/m<sup>3</sup>

En la tabla 3.3 se resume la dosificación para un concreto celular de 1500 kg/m<sup>3</sup>:

**Tabla 3.3**

*Dosificación para una densidad de 1500kg/m<sup>3</sup>*

Dosificación para una densidad de 1500 kg/m <sup>3</sup>			
Material	Unidades	1m <sup>3</sup>	0.02 m <sup>3</sup>
Cemento	kg	370.64	7.67
Arena	kg	888.45	18.39
Agua	Litros	240.91	4.99
Espuma	kg	26.47	0.55

### 3.8.8 Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>

En la tabla 3.4 se resume la dosificación para un concreto celular de 1200 kg/m<sup>3</sup>:

**Tabla 3.4**

*Dosificación para una densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>*

<b>Dosificación para una densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>1m<sup>3</sup></b>	<b>0.02 m<sup>3</sup></b>
Cemento	kg	377.65	7.82
Arena	kg	576.88	11.94
Agua	Litros	245.47	5.08
Espuma	kg	36.05	0.75

### 3.8.9 Diseño de mezcla de concreto celular para una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

En la tabla 3.5 se resume la dosificación para un concreto celular de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 3.5**

*Dosificación para una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>*

<b>Dosificación para una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>1m<sup>3</sup></b>	<b>0.02 m<sup>3</sup></b>
Cemento	kg	389.95	8.07
Arena	kg	256.58	5.31
Agua	Litros	253.47	5.25
Espuma	kg	45.47	0.94

### 3.8.10 Metrado y dosificación de concreto celular con una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup> para la elaboración de bloques, probetas de 10 cm x 20 cm para ensayo de absorción y probetas de 15 cm x 30 cm para obtener el módulo de elasticidad.

Para el diseño de concreto celular con una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup> se consideró uno de los tópicos del ACI /ACI 523.3R-14) que refiere directamente al diseño de concretos de bajas densidades brindado una guía teórica.

En la tabla 3.6 se indica la dosificación para el metrado total calculado

**Tabla 3.6**

*Dosificación para elaborar bloques y probetas con densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>*

<b>Dosificación para bloques y probetas Densidad 900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Bloques</b>	20	0.00864	0.1728
<b>Probeta de 10 cm x 20 cm</b>	15	0.00157	0.02355
<b>Probeta de 15 cm x 30 cm</b>	3	0.00530	0.0159
<b>Total + 10% desperdicio</b>			<b>0.24</b>

Dosificación para 0.24 metros cúbicos de concreto (15 probetas de 10 cm x 20 cm; 20 bloques prismáticos y 3 probetas de 15 cm x 30 cm más el 10% de desperdicio)

- Cemento:  $389.95 \text{ kg} \times 0.24 = 93.59 \text{ kg}$
- Arena:  $256.57 \text{ kg} \times 0.24 = 61.58 \text{ kg}$
- Agua:  $253.46 \text{ L} \times 0.24 = 60.83 \text{ L}$
- Espuma:  $45.46 \text{ kg} \times 0.24 = 10.91 \text{ kg}$

En la tabla 3.7 se resume la dosificación para un concreto celular de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 3.7**

*Resumen de la dosificación para el concreto de 900 kg/m<sup>3</sup>*

<b>Dosificación para una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>1m<sup>3</sup></b>	<b>0.0207 m<sup>3</sup></b>
Cemento	kg	389.95	93.59
Arena	kg	256.58	61.58
Agua	Litros	253.47	60.83
Espuma	kg	45.47	10.91

Para el vaciado en general se aplicó desmoldante sobre los moldes (ver figura 3.5), se tareó los insumos a para poder ingresarlos a la mezcladora (ver figura 3.6 y 3.7), asimismo es importante destacar que se compacto cada probeta (ver figura 3.8) y cada bloque con una varilla de 5/8 de pulgada, además de enrasar la superficie de los 20 bloques (ver figura 3.9). Por otro lado, los moldes de los bloques fueron elaboración propia, con las mismas dimensiones que los bloques b-12 de circulan en el mercado. Es importante destacar que los alveolos de los bloques (aberturas internas para el paso de varillas de acero para su arriostamiento) se consideraron circulares debido a su facilidad de desencofrado y que cumpla la misma función que los alveolos de geometría circular-cuadrada que tienen los demás bloques de concreto convencional. Los materiales y/o herramientas que se usaron para fabricar este molde se indican en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8**

*Materiales y/o herramientas*

Materiales y/o herramientas	
Fenólico	Martillo
Tubo de 2 pulgadas	Escuadra
Clavos	Sierra eléctrica
Cinta métrica	Baldes
Desmoldante	Cucharones
Taladro	Aditivo

**Figura 3.5**

*Aplicando desmoldante a los moldes de los bloques*



**Figura 3.6**

*Tareando los insumos para la mezcla*



**Figura 3.7**

*Ingreso de los materiales a la mezcladora*



**Figura 3.8**

*Compactación de probetas y bloques*



**Figura 3.9**

*Enrase de los bloques*



### 3.8.11 Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup>, 1500 kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> y 900 kg/m<sup>3</sup>

Para este ensayo se usaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- Máquina de compresión axial
- Probetas con la edad deseada

Para realizar este ensayo se tuvo en consideración los requisitos mínimos que exige la norma peruana NTP 339.033, la cual normaliza los pasos a seguir para la determinación de la resistencia a la compresión del diseño de un concreto, mediante probetas (muestras) cilíndricas.

El procedimiento tuvo como punto de partida el desmolde de las probetas (ver figura 3.10), después el retiro de las muestras de la cámara de curado (ver figura 3.11) y esperar un secado superficial para ingresar a la máquina (ver figura 3.12). Es importante mencionar que se programó la rotura de 4 probetas por cada densidad en un tiempo determinado de acuerdo con los intervalos establecidos por la norma (7-14 y 28 días). Además, el paso relacionado a la limpieza de las caras de contacto de la máquina y las caras de la probeta, tanto la parte superior como inferior, y alinear los ejes de la probeta cilíndrica con el centro de empuje de la máquina axial para que no exista interferencias al momento que se sometió a la rotura cada probeta para obtener su resistencia (ver figura 13). Los datos obtenidos a través del ensayo se completaron en el formato específico para rotura (ver Anexo 03), asimismo, se agrupó las probetas de las 4 densidades proyectadas y se programó las roturas con la edad correspondiente (ver Tabla 3.8; 3.9; 3.10 y 3.11).

**Tabla 3.9**

*Rotura de probetas de 1900kg/m<sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días*

<b>Densidad 1900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>N°</b>	<b>Densidad</b>	<b>Edad</b>	<b>Ensayo</b>
1	1900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	Rotura
2	1900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
3	1900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
4	1900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
5	1900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura

<b>Densidad 1900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>N°</b>	<b>Densidad</b>	<b>Edad</b>	<b>Ensayo</b>
6	1900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura
7	1900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
8	1900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura
9	1900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
10	1900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
11	1900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
12	1900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	

**Tabla 3.10**

*Rotura de probetas de 1500kg/m<sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días*

<b>Densidad 1500 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>N°</b>	<b>Densidad</b>	<b>Edad</b>	<b>Ensayo</b>
1	1500 kg/m <sup>3</sup>	7 días	Rotura
2	1500 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
3	1500 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
4	1500 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
5	1500 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura
6	1500 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
7	1500 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
8	1500 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
9	1500 kg/m <sup>3</sup>	28 días	Rotura
10	1500 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
11	1500 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
12	1500 kg/m <sup>3</sup>	28 días	

**Tabla 3.11**

*Rotura de probetas de 1200kg/m<sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días*

<b>Densidad 1200 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>N°</b>	<b>Densidad</b>	<b>Edad</b>	<b>Ensayo</b>
1	1200 kg/m <sup>3</sup>	7 días	Rotura
2	1200 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
3	1200 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
4	1200 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
5	1200 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura

<b>Densidad 1900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>N°</b>	<b>Densidad</b>	<b>Edad</b>	<b>Ensayo</b>
6	1200 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura
7	1200 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
8	1200 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura
9	1200 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
10	1200 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
11	1200 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
12	1200 kg/m <sup>3</sup>	28 días	

**Tabla 3.12**

*Rotura de probetas de 900kg/m<sup>3</sup> cada 7 - 14 y 28 días*

<b>Densidad 900 kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>N° De Probeta</b>	<b>Densidad</b>	<b>Edad</b>	<b>Ensayo</b>
1	900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	Rotura
2	900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
3	900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
4	900 kg/m <sup>3</sup>	7 días	
5	900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	Rotura
6	900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
7	900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
8	900 kg/m <sup>3</sup>	14 días	
9	900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	Rotura
10	900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
11	900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	
12	900 kg/m <sup>3</sup>	28 días	

**Figura 3.10**

*Desmoldeo de las probetas*



**Figura 3.11**

Probetas en la Cámara de curado



**Figura 3.12**

*Secado superficial para ensayo de rotura*



**Figura 3.13**

*Rotura de probetas*



### 3.8.12 Medición de dimensiones de los bloques de poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

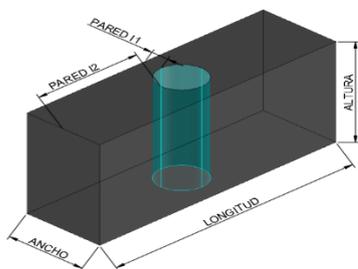
Para la medición de los bloques se tomó como referencia la norma NTP 399.604 y las herramientas que se utilizaron fueron las siguientes:

- Regla de acero graduada
- Regla digital
- Formato a4 para para completar datos

Se tomó las medidas de ancho (A), altura (H), longitud (L) y las paredes delgadas del bloque para verificar la uniformidad y/o obtener un promedio como se visualiza en la figura 3.14 y estos valores se ingresan a un formato (ver Anexo 04) exclusivo para visualizar la diferencia entre estos datos. La secuencia de pasos fue el desencofrado de los bloques (ver figura 3.15) y transportarlos de inmediato al laboratorio para poder realizar las mediciones correspondientes a cada unidad (ver figura 3.16 y 3.17).

**Figura 3.14**

*Geometría del bloque en diseño*



**Figura 3.15**

*Desencofrando los bloques*



**Figura 3.16**

*Transportando los bloques para dimensionarlos*



**Figura 3.17**

*Dimensionando bloques*



Posterior a la medición de las dimensiones de cada bloque, se rellenaron los alveolos con un mortero pobre de relación 1-8 cemento-arena gruesa para poder refrentar las dos caras que estarán en contacto con la maquina universal para el ensayo de compresión axial y la carga sea distribuida en un área bruta. Para este proceso se preparó la zona donde se realizará el capeado y extendió un plástico impermeable sobre una superficie nivelada para así preparar la mezcla y vaciar el mortero en los alveolos (ver figura 3.18 y 3.19).

**Figura 3.18**

*Mortero para rellenar los alveolos*



**Figura 3.19**

*Alveolos rellenos*



### **3.8.13 Ensayo de compresión axial a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>**

Para este ensayo se utilizó los siguientes equipos, herramientas y/o insumos:

- Máquina Universal
- Bloques con la edad deseada
- Regla de nivel
- Badilejo
- Plástico impermeable
- Cemento
- Arena
- Agua

- Tamiz N° 20b
- Yeso
- Carretilla
- Baldes
- Balanza
- Martillo de goma

De igual forma que el ensayo anterior, para este ensayo se recurrió a la norma NTP 399.604 y como punto de partida se hizo un refrentado (capeado) a todos los bloques de yeso-cemento para corregir cualquier irregularidad de la superficie que el bloque prismático pueda haber tenido durante el vaciado y/o desencofrado. Para esto se procedió a extender un plástico impermeable en una superficie a nivel y a su vez cubierto con desmoldante; sobre esta área se vertió una mezcla de yeso-cemento en una relación de 1 a 2, tamizando ambos materiales por la malla N° 20 que posee una abertura de  $850\mu\text{m}$  (ver figura 3.20). En un recipiente de acero inoxidable se mezcló de una forma homogénea los materiales mencionados anteriormente y se agregó agua hasta obtener una mezcla fluida, dado que la fragua es muy acelerada, cabe mencionar que se preparó la superficie de igual forma que los bloques (ver figura 3.21). Finalmente se colocaron los bloques independientemente sobre la mezcla y con una regla de nivel, badilejo y un martillo de goma; se asegura que esté nivelado y no incidan las irregularidades superficiales (ver figura 3.22), de igual forma se realizó para la otra cara del bloque que también tuvo contacto con la máquina universal. Cabe mencionar que el espesor obtenido al refrentar los bloques fue de 3 mm, siendo el límite máximo permisible por norma 3.2 mm.

### **Figura 3.20**

*Tamizando el yeso y cemento para preparar el capeado*



**Figura 3.21**

Preparando la superficie donde se capearán los bloques



**Figura 3.22**

*Cambiando de cara para capear*



Una vez que se tuvo los bloques refrentados con yeso-cemento para corregir cualquier irregularidad existente en los bloques, se procedió a ensayarlos a los 7-14-28 días (ver figura 3.23) de igual forma que las probetas y recopilar los datos en un formato específico (ver Anexo 05). En este caso será en la máquina universal. Además del refrentado, se tuvo en consideración las disposiciones de la norma con respecto a las condiciones que debe tener cada bloque antes del ingreso a la máquina y sea ensayado, como el secado superficial después del curado, la separación de cada bloque no menor a 13 mm entre ellas ni que se encuentren apiladas (ver figura 3.24). Conforme con todas las condiciones previas, se inició el ensayo a los 7 -14 y 28 días respectivamente.

**Figura 3.23**

*Rotura de bloque*



**Figura 3.24**

*Punto de fractura*



### **3.8.14 Ensayo de compresión axial a pilas de bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>**

Para este ensayo se utilizó los siguientes equipos, herramientas y/o insumos:

- Máquina Universal
- Bloques con la edad deseada
- Regla de nivel
- Badilejo
- Plástico impermeable
- Cemento
- Arena
- Agua

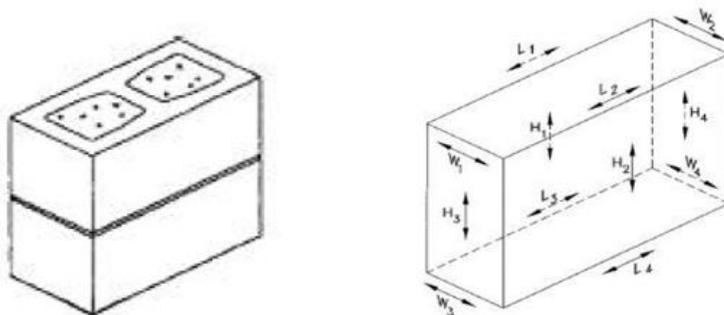
- Tamiz N° 20b
- Yeso
- Carretilla
- Baldes
- Balanza
- Martillo de goma

Para la determinación del área neta se procedió a medir cada bloque nuevamente las pilas o prismas una vez armados con una variación máxima de 1 mm el ancho y altura, promediando las 4 medidas de cada cara y obteniendo un promedio (ver figura 3.25).

Para el ensayo de compresión axial de las pilas, es de igual forma que el ensayo anterior, para este ensayo se recurrió a la norma NTP 399.604 y como punto de partida se inició el armado de la pila colocando un bloque encima de otro, ambos con una edad de 28 días, y una junta de 15 mm (ver figura 3.26) como máximo con un mortero pobre con una relación de cemento-arena gruesa de 1 a 8, nivelando la pila en todas las direcciones, armando así 3 pilas para ser ensayadas a los 28 días de su elaboración (ver figura 3.27 y 3.28).

**Figura 3.25**

*Dimensionamiento de las pilas*



**Figura 3.26**

*Verificando espesor de 1.5cm de las juntas*



**Figura 3.27**

*Verificando nivel de las pilas*



**Figura 3.28**

*Juntas fraguando*



Posteriormente se realizó un refrentado (capeado) a todas las pilas con yeso-cemento para corregir cualquier irregularidad de la superficie que los bloques que conforman la pila pudiesen haber tenido durante el vaciado y/o desencofrado. Para esto

se procedió a extender un plástico impermeable en una superficie a nivel y a su vez cubierto con desmoldante; sobre esta área se vertió una mezcla de yeso-cemento en una relación de 1 a 2, tamizando ambos materiales por la malla N° 20 que posee una abertura de 850 $\mu$ m. En un recipiente de acero inoxidable se mezcló de una forma homogénea los materiales mencionados anteriormente y se agregó agua hasta obtener una mezcla fluida, dado que la fragua es muy acelerada. Se colocaron las pilas independientemente sobre la mezcla y con una regla de nivel, badilejo y un martillo de goma; se asegura que esté nivelado y no incidan las irregularidades superficiales (ver figura 3.29). Cabe mencionar que el espesor obtenido al refrentar los bloques fue de 3 mm, siendo el límite máximo permisible por norma 3.2 mm (ver figura 3.30).

**Figura 3.29**

*Verificando nivel del capeo de pilas*



**Figura 3.30**

*Pilas capeadas listas para ensayos*



Finalmente se colocaron las pilas en la máquina universal limpiando los platos de carga, los puntos de apoyo y alineando los ejes centroidales de la pila con los ejes de carga de la máquina (ver figura 3.31). Los datos de salida será una carga en kilo newtons, la cual será transformada a kilogramos y dividida entre el área bruta para obtener la resistencia en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  de la pila (ver figura 3.32), asimismo la recopilación de estos será en un formato específico (ver Anexo 06), y la rotura se comparó con los tipos clásicos de roturas para visualizar la falla probable (ver figura 3.33).

**Figura 3.31**

*Ensayo de pilas*



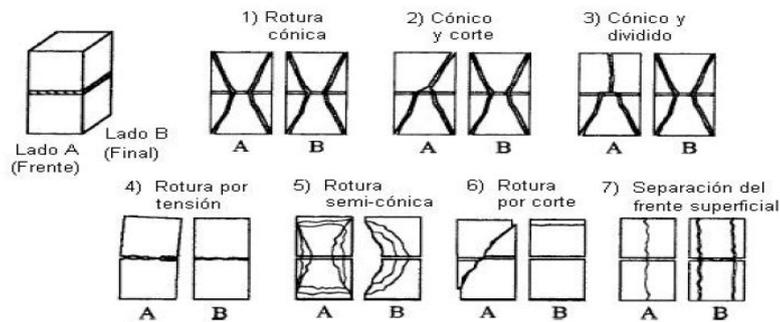
**Figura 3.32**

*Rotura de pilas*



### Figura 3.33

#### Tipo de rotura de pilas



### 3.8.15 Ensayo de permeabilidad a las probetas que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

Para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- 3 probetas con la edad de 28 días
- Tubo de pvc de 4 pulgadas
- Hoja de sierra
- Cinta Teflón
- Silicona hidráulica
- 2 tapones hembra de PVC de 4 pulgadas
- Máquina de permeabilidad
- Agua

En este ensayo se empleó la Ley de Darcy la cual describe el comportamiento del agua a través de un medio poroso, con lo cual dentro de la ecuación general se encuentra el coeficiente de permeabilidad “k” que es de interés para medir la permeabilidad del concreto celular.

$$Q = k \frac{h_2 - h_1}{L} A = -k \cdot i \cdot A \quad (\text{Ecuación 4})$$

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

K= Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

$h_1$  y  $h_2$ = alturas del sistema (cm)

$L$ = longitud de la probeta (cm)

$i$ = gradiente hidráulico

Es importante destacar que para la validez de la ley de Darcy se tienen ciertas condiciones, como que el medio sea continuo, saturado, homogéneo e isotrópico. En este caso el concreto celular cumple las condiciones de continuidad, homogéneo e isotrópico, respecto a la condición de saturación, las 3 probetas se saturaron durante 48 hora, validando completamente el ensayo.

Se elaboró el recubrimiento que tuvieron las probetas con un tubo de 4 pulgadas, 2 tapones de 4 pulgadas, taladro, reductores para manguera de 5 mmx8 mm y cinta de teflón para conectar este sistema a la máquina de laboratorio.

El ensayo se subdividió en 2 partes: Ensayo con carga variable y Ensayo con carga constante los cuales se detallarán a continuación.

### **ENSAYO CON CARGA VARIABLE**

Para el ensayo con carga variable, se despejó el coeficiente de permeabilidad en base a la ley de Darcy considerando determinadas condiciones para el ensayo como:

- Se consideró el flujo en un medio poroso, homogéneo y saturado, asumiendo que el gradiente hidráulico es pequeño entonces  $i = \frac{\Delta h}{L}$  donde  $\Delta h$  es la pérdida de carga y  $L$  la longitud del paso de flujo.
- Se consideró que  $h_1$  y  $h_2$  son alturas cercanas entre sí, por lo tanto, el gradiente hidráulico  $\frac{\Delta h}{L}$  es pequeño y se usó una aproximación de Taylor para un logaritmo natural  $\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \approx \frac{h_1 - h_2}{h_2}$ .

Sustituyendo en la ecuación de la Ley de Darcy se obtuvo la siguiente ecuación para la obtener el coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{l * a}{t * a} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

$k$ = coeficiente de permeabilidad (cm/s)

$l$ = Longitud de la probeta

$a$ = Área de la probeta

$h_1$  y  $h_2$ = longitudes del sistema (cm)

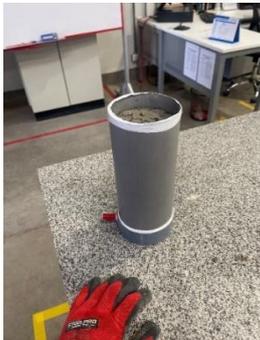
$t$ = tiempo (s)

Asimismo, el procedimiento que siguió el ensayo con carga variable fue el siguiente:

- Se fabricó el sistema que contuvo a las probetas, con un tubo de pvc de 4 pulgadas, tapones de pvc de 4 pulgadas, silicona, y cinta de teflón para las uniones (ver figura 3.34).
- Se colocó la probeta saturada 48 horas en el sistema y este, a su vez en la máquina de permeabilidad y se aplicó una carga variable aumentando gradualmente la presión del agua (ver figura 3.35).
- Se buscó la variación de permeabilidad del concreto con los niveles de carga establecidos inicialmente.
- Se identificó la no linealidad entre la carga inicial y el caudal de salida, debido a que la presión varió a medida que la carga inicial disminuía.
- Se recopiló los datos en un formato específico (ver Anexo 07).

### **Figura 3.34**

*Fabricación de sistema para ensayar permeabilidad*



**Figura 3.35**

*Ensayo de permeabilidad - carga variable*



### **ENSAYO CON CARGA CONSTANTE**

Para el ensayo con carga constante, se despejó el coeficiente de permeabilidad en base a la ley de Darcy considerando determinadas condiciones para el ensayo como:

- Se consideró una carga constante  $\Delta h$  durante todo el ensayo, lo cual simplificó la ecuación de la Ley de Darcy de la siguiente forma:

$$k = \frac{Q * L}{A * \Delta h * t} \quad (\text{Ecuación 6})$$

- Al considerar que  $\Delta h$  es constante, se asumió como un factor constante y se simplificó aun más la ecuación:

$$k \approx \frac{Q * L}{A * t} \quad (\text{Ecuación 7})$$

K= Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A= Área de la probeta (cm<sup>2</sup>)

L=Longitud de la probeta (cm)

t= Tiempo (s)

Asimismo, el procedimiento que siguió el ensayo con carga constante fue el siguiente:

- Se pesó el recipiente contenedor de agua

- Posterior al ensayo de carga variable, se aplicó una carga constante  $\Delta h$  y se procedió a establecer un tiempo “t” para cerrar la válvula de ingreso de agua y posterior a ello medir el volumen de salida durante ese tiempo (ver figura 3.36).
- Se recopiló los datos en un formato específico (ver Anexo 08).

**Figura 3.36**

*Obtención de un volumen en un tiempo determinado*



### **3.8.16 Ensayo de absorción a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>**

Para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos, herramientas y/o materiales:

- 3 bloques de 28 días de edad
- Balanza
- Depósito de agua de 20 L
- Horno

De acuerdo con la norma técnica peruana NTP 339.604 indica que el procedimiento inicia con la saturación del bloque por 24 horas como mínimo, sin embargo, en el proceso se dejó los bloques suspendidos durante 48 horas midiendo el peso sumergido  $W_i$ , después de retirarlos del agua, se tomó otro registro del peso saturado  $W_s$ , no sin antes drenarlo por 60 segundos y retirar el agua superficial con un trapo de acuerdo a norma (ver figura 3.37).

Una vez que se registró  $W_s$  y  $W_i$  se introdujo al horno que se encontraba con una temperatura de 115° centígrados por otras 48 horas, siendo como mínimo 24 horas (ver figura 3.38), posteriormente se tomó registro del peso del bloque secado en el horno  $W_d$

(ver figura 3.39) y todos los datos se introdujeron a un formato específico (ver Anexo 09).

Finalmente se calculó la absorción de la siguiente forma:

$$\text{Absorción en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \left( \frac{W_S - W_D}{W_S - W_i} \times 1000 \right) \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\text{Absorción en } \% = \left( \frac{W_S - W_D}{W_D} \times 100 \right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

Ws: peso saturado en kg

W<sub>D</sub>: peso seco en kg

W<sub>i</sub>: Peso sumergido en kg

### **Figura 3.37**

*Pesando el bloque saturado*



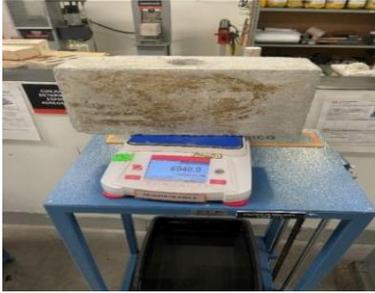
### **Figura 3.38**

*Ingresando el bloque al horno para el secado*



### Figura 3.39

*Pesaje del bloque secado al horno*



#### 3.8.17 Ensayo de aislamiento acústico a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

Para este ensayo se utilizó los siguientes equipos, herramientas y/o insumos:

- Medidor de decibeles
- Emisor de ondas de sonido
- Sistema aislante
- Bloques con la edad de 28 días

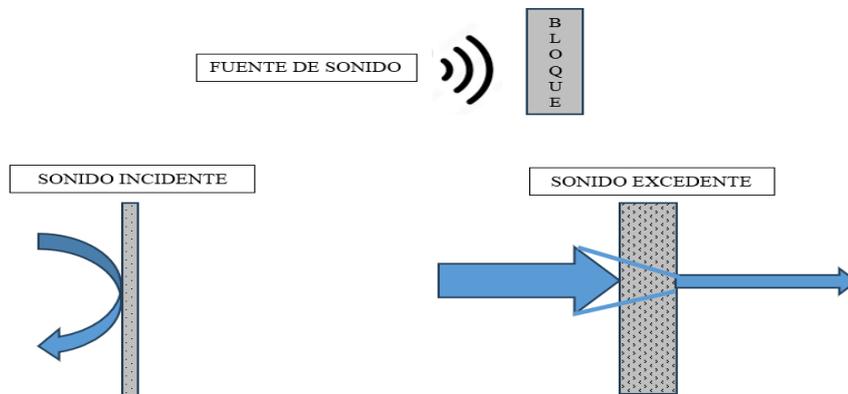
Para llevar a cabo este estudio, se creó un nivel de sonido utilizando un emisor específico ubicado a un lado de un bloque de concreto celular. El ensayo se realizó en un entorno que no absorbe el sonido, pero que actúa como aislante debido a los materiales utilizados. Esto significa que el material circundante al bloque está diseñado para mantener el sonido en su forma original y no permitir que se disipe (ver figura 3.40 y 3.41).

Además, se dirigió directamente la propagación de las ondas sonoras hacia la cara del bloque y se midieron los decibeles en el lado opuesto del mismo (ver figura 3.42). Se registraron los datos proporcionados por un medidor de decibeles en siete frecuencias específicas permitidas por la fuente de sonido utilizada, y todos estos valores se recopilaron en un formato específico (ver Anexo 10).

El sistema reflectivo tiene unas dimensiones de 0.39 m x 0.19 m x 0.36 m, asimismo se calculó la intensidad del sonido:  $I_o$ ; la intensidad reflectada:  $I_r$ ; la intensidad absorbida:  $A = I_o - I_r$ ; y el coeficiente de absorción acústica:  $\alpha = A / I_o$ . Es necesario recalcar que el coeficiente de aislamiento acústico varía de 1 a 0, donde 0 es un material totalmente reflectivo y 1 un material totalmente absorbente.

**Figura 3.40**

*Esquematación del flujo del sonido*



**Figura 3.41**

*Sistema para ensayo acústico*



**Figura 3.42**

*Medición de decibeles*



### **3.8.18 Ensayo para obtener el módulo de elasticidad del concreto celular que posee una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>**

Para este ensayo se utilizó los siguientes equipos, herramientas y/o insumos:

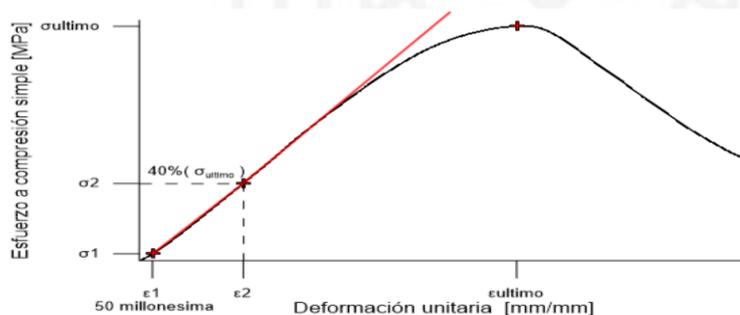
- Maquina universal
- Probetas con la edad de 28 días
- Compresómetro

Para el procedimiento de este ensayo se recurrió a la norma ASTM C-469 que indica una serie de pasos a seguir para obtener de una forma correcta el módulo de elasticidad.

Como prima instancia, se extrajó 3 probetas de 15cm x 30cm y se dejó secar superficialmente por 1 hora, además que ya se obtuvo el valor de la resistencia a la compresión en roturas anteriores de la misma mezcla, por lo cual para una densidad de concreto celular de 900 kg/m<sup>3</sup> se obtuvo una resistencia máxima a los 28 días de 2.6 MPa o 26.12 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. Según lo que indica la norma, se sometió cada probeta a una carga cíclica al 40% de su resistencia a la compresión en 3 ciclos (ver figura 3.43), descartando la toma de datos del 1 ciclo dado que refiere que la maquina y el compresómetro recién se acomodan a la carga, y el registro debe comenzar a partir del 2 ciclo, por lo cual al introducir la probeta montada con el compresómetro a la maquina universal se configuró para unas 3 cargas de 1.04 MPa o 10.44 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, con lo que se obtuvo las deformaciones de las probetas y se logró calcular el Módulo de elasticidad, en base a las deformaciones del compresómetro, ya que este posee un vástago móvil y uno fijo.

**Figura 3.43**

*Curva Esfuerzo-Deformación*



Para el cálculo del módulo de elasticidad se usó la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.000005} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad

σ<sub>2</sub> = Esfuerzo correspondiente al 40% de la resistencia ultima f'c

σ<sub>1</sub> = Esfuerzo correspondiente al ε<sub>1</sub> = 0.000005

ε<sub>2</sub> = Deformación adimensional originada por el esfuerzo σ<sub>2</sub>

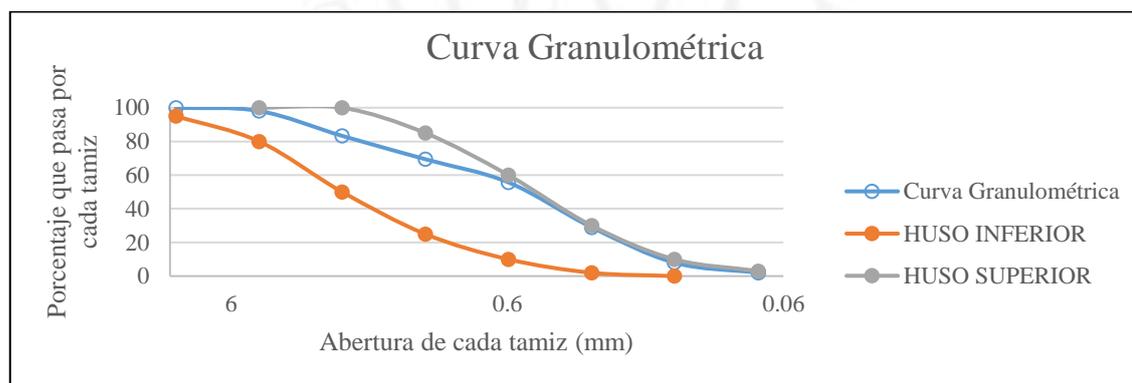
## 4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Ensayos de caracterización del agregado

#### 4.1.1 Ensayo de granulometría

**Figura 4.1**

*Ensayo granulométrico*



La curva granulométrica del agregado fino (ver figura 4.1) que fue destinado para la mezcla del concreto celular cumple con estar dentro del parámetro permisible entre cada HUSO, además de que este agregado posee un módulo de fineza de 3.15, cumpliendo asimismo la norma peruana NTP400.037-2001.

#### 4.1.2 Ensayo de peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

**Tabla 4.1**

*Ensayo P.U.S*

Ensayo P.U.S.	
Peso de la muestra + Recipiente (kg)	7.92
Peso del recipiente (kg)	2.59
Peso de la muestra (kg)	5.33
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )	0.003
Peso unitario suelto (kg / m <sup>3</sup> )	1774.87

El peso unitario suelto del agregado fino fue de 1774.87 kg/m<sup>3</sup>, ver tabla 4.1.

#### 4.1.3 Ensayo de peso unitario compactado

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)

**Tabla 4.2**

*Ensayo P.U.C*

<b>Ensayo P.U.C.</b>	
Peso de la muestra + Recipiente (kg)	8.74
Peso del recipiente (kg)	2.592
Peso de la muestra (kg)	6.15
Volumen del recipiente (m3)	0.003
Peso unitario compactado (kg / m3)	2049.33

El peso unitario compactado del agregado fino fue de 2049.33 kg/m<sup>3</sup>, ver tabla 4.2

#### 4.1.4 Ensayo para determinar el porcentaje de humedad del agregado fino

**Tabla 4.3**

*Ensayo de % de humedad*

<b>Ensayo de porcentaje de humedad</b>	
Peso de la tara (kg)	0.215
Peso de la muestra en estado ambiental (kg)	0.500
Peso de la muestra seca al horno (kg)	0.495
Peso del agua perdida (kg)	0.0059
Contenido de humedad (%)	1.19%

El contenido de humedad que presentó el agregado fino fue del 1.19%, ver tabla 4.3.

#### 4.1.5 Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino

Agregado fino: Basado en la Norma Técnica: NTP 400.022

**Tabla 4.4***Ensayo de absorción y peso específico del agregado fino*

Ensayo de absorción y de peso específico del agregado fino		
Peso de la arena superficialmente seca		0.5667 kg
Peso del picnómetro		0.2195 kg
Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua		1.0362 kg
Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro		0.7862 kg
Peso del agua	W	0.250 kg
Peso de la arena seca al horno	A	0.4989 kg
Volumen del recipiente	V	500 cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa	$A / (V - W)$	1.99
Peso específico de masa superficialmente seco	$500 / (V - W)$	2
Peso específico aparente	$A / (V - W) - (500 - A)$	1.789
Porcentaje de absorción	$(500 - A) \times 100 / A$	0.22 %

El peso específico del agregado fue de 1789 kg/m<sup>3</sup> y el porcentaje de absorción fue del 0.22 %, indicando que este material tiene una baja capacidad de absorción de agua. Ver tabla 4.4.

## 4.2. Densidades alcanzadas en un rango de 900 kg/m<sup>3</sup> y 1900 kg/m<sup>3</sup>

### 4.2.1 Densidad obtenida del diseño de 1900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.5**

*Densidades calculadas vs la densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup> proyectada*

Probetas											
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
1	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.099	0.099	0.099	0.0078	0.2010	3.13	1985.85
2	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2009	3.09	1920.07
3	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0080	0.2010	3.10	1931.46
4	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2005	2.99	1898.95
5	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2009	3.01	1872.87
6	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.099	0.099	0.099	0.0078	0.2010	2.97	1883.29
7	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2008	3.12	1938.88
8	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0080	0.2010	3.06	1903.46
9	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2009	3.05	1935.29
10	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.101	0.099	0.100	0.0080	0.2010	3.10	1922.04
11	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.101	0.100	0.100	0.0080	0.2008	3.03	1885.53
12	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2010	3.13	1979.84

La densidad lograda es ligeramente superior al 5% en comparación con la densidad proyectada (ver tabla 4.5), una variación que se encuentra dentro de los límites aceptados según las pautas del ACI. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores como la humedad ambiental, el método de curado, la madurez alcanzada después de los 28 días, entre otros. Sin embargo, es importante destacar que esta discrepancia no cuestiona la integridad del diseño del concreto

#### 4.2.2 Densidad obtenida del diseño de 1500 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.6**

*Densidades calculadas vs la densidad de 1500 kg/m<sup>3</sup> proyectada*

Probetas											
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
13	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	2.57	1595.96
14	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2009	2.37	1505.04
15	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	2.36	1467.83
16	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2005	2.44	1549.00
17	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	2.25	1399.09
18	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2008	2.47	1566.50
19	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2010	2.46	1560.81
20	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	2.46	1526.57
21	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2009	2.34	1485.61
22	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	2.38	1478.68
23	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2005	2.47	1539.40
24	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2010	2.42	1537.82

La densidad lograda es ligeramente superior al 7% en comparación con la densidad proyectada (ver tabla 4.6), una variación que se encuentra dentro de los límites aceptados según las pautas del ACI. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores como la humedad ambiental, el método de curado, la madurez alcanzada después de los 28 días, entre otros. Sin embargo, es importante destacar que esta discrepancia no cuestiona la integridad del diseño del concreto

#### 4.2.3 Densidad obtenida del diseño de 1200 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.7**

*Densidades calculadas vs la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup> proyectada*

Probetas											
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
25	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2005	1.89	1202.75
26	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2009	2.02	1252.50
27	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2010	1.95	1236.18
28	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2008	1.98	1230.39
29	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	1.98	1232.34
30	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2009	1.89	1203.33
31	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2010	1.92	1215.72
32	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2005	1.97	1225.23
33	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	1.98	1232.39

Probetas											
N°	Densidad Proyectada	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m2)	Altura (m)	Peso (kg)	Densidad Calculada
	(kg/m3)										(kg/m3)
34	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.98	1261.02
35	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.98	1254.93
36	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.201	1.92	1218.1

La densidad lograda es ligeramente superior al 4% en comparación con la densidad proyectada (ver tabla 4.7), una variación que se encuentra dentro de los límites aceptados según las pautas del ACI. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores como la humedad ambiental, el método de curado, la madurez alcanzada después de los 28 días, entre otros. Sin embargo, es importante destacar que esta discrepancia no cuestiona la integridad del diseño del concreto

#### 4.2.4 Densidad obtenida del diseño de 900 kg/m3

**Tabla 4.8**

*Densidades calculadas vs la densidad de 900 kg/m3 proyectada*

Probetas											
N°	Densidad Proyectada (kg/m3)	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m2)	Altura (m)	Peso (kg)	Densidad Calculada (kg/m3)
37	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.53	948.88
38	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.45	919.33

Probetas											
N°	Densidad Proyectada	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Densidad Calculada
	(kg/m <sup>3</sup> )										(kg/m <sup>3</sup> )
39	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.54	958.8
40	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.54	953.26
41	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.56	991.29
42	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.46	924.41
43	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	1.74	1081.94
44	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	1.47	916.54
45	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.52	967.47
46	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.61	1019.16
47	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.200	1.56	989.55
48	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	1.53	951.2

La densidad lograda es ligeramente superior al 7% en comparación con la densidad proyectada (ver tabla 4.8), una variación que se encuentra dentro de los límites aceptados según las pautas del ACI. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores como la humedad ambiental, el método de curado, la madurez alcanzada después de los 28 días, entre otros. Sin embargo, es importante destacar que esta discrepancia no cuestiona la integridad del diseño del concreto

### 4.3. Resultados mecánicos

#### 4.3.1. Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.9***Resultados de la rotura de probetas con densidad 1900 kg/m<sup>3</sup>*

Probetas													
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
1	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	3.13	10.94	109.4	1985.85
2	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	3.09	10.31	103.1	1920.07
3	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	3.10	10.52	105.2	1931.46
4	1900	26/05/2023	2/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2005	2.99	10.19	101.9	1898.95
5	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2009	3.01	17.26	172.6	1872.87
6	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.2010	2.97	17.44	174.4	1883.29
7	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2008	3.12	17.83	178.3	1938.88
8	1900	26/05/2023	9/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	3.06	17.58	175.8	1903.46
9	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2009	3.05	19.21	192.1	1935.29
10	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2010	3.10	19.02	190.2	1922.04
11	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.2008	3.03	18.89	188.9	1885.53
12	1900	26/05/2023	23/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.2010	3.13	19.37	193.7	1979.84

De igual forma que la densidad, la resistencia también se proyectó y se tuvo la siguiente premisa antes de realizar la mezcla de concreto celular y hacer las respectivas pruebas. Ver tabla 4.10.

**Tabla 4.10**

*Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad 1900 kg/m<sup>3</sup>*

Resistencia proyectada	Resistencia MPa	22.22	Resistencia obtenida	Resistencia MPa	19.12
	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	226.62		Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	194.97

La cual varió en un 12 % aproximadamente. Sin embargo, es necesario indicar que este concreto no es estructural, por lo cual la resistencia no tiene una incidencia como otras propiedades intrínsecas al concreto celular.

#### 4.3.2. Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1500 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.11**

*Resultados de la rotura de probetas con densidad 1500 kg/m<sup>3</sup>*

Probetas													
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
13	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	2.57	5.94	59.42	1595.96
14	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	2.37	5.78	57.82	1505.04
15	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	2.36	5.61	56.12	1467.83
16	1500	1/06/2023	8/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.200	2.44	5.88	58.832	1549.00
17	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	2.25	7.49	74.92	1399.09
18	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.200	2.47	7.68	76.802	1566.50
19	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.201	2.46	7.68	76.79	1560.81

De igual forma que la densidad, la resistencia también se proyectó y se tuvo la siguiente premisa antes de realizar la mezcla de concreto celular y hacer las respectivas pruebas. Ver tabla 4.12.

Probetas													
N°	Densidad Proyectada	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad Calculada
	(kg/m <sup>3</sup> )												(kg/m <sup>3</sup> )
20	1500	1/06/2023	15/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	2.46	7.52	75.23	1526.57
21	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	2.34	8.83	88.3	1485.61
22	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	2.38	8.73	87.34	1478.68
23	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	2.47	9.02	90.2	1539.4
24	1500	1/06/2023	29/06/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	2.42	8.92	89.23	1537.82

**Tabla 4.12**

*Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad 1500 kg/m<sup>3</sup>*

Resistencia proyectada	Resistencia MPa	9.21	Resistencia obtenida	Resistencia MPa	8.87
	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	94.00		Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	90.44

La cual varió en un 4 % aproximadamente. Sin embargo, es necesario indicar que este concreto no es estructural, por lo cual la resistencia no tiene una incidencia como otras propiedades intrínsecas al concreto celular.

#### 4.3.3. Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.13**

*Resultados de la rotura de probetas con densidad 1200 kg/m<sup>3</sup>*

Probetas													
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Peso (kg)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
25	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.201	1.89	2.73	27.29	1202.75
26	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	2.02	3.07	30.723	1252.50
27	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.95	2.99	29.904	1236.18
28	1200	7/06/2023	14/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	1.98	2.93	29.34	1230.39
29	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.98	3.95	39.501	1232.34
30	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.200	1.89	3.50	35	1203.33
31	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.92	3.77	37.72	1215.72
32	1200	7/06/2023	21/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	1.97	3.85	38.504	1225.23
33	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.98	4.28	42.78	1232.39
34	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.200	1.98	4.39	43.89	1261.02
35	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.98	4.19	41.92	1254.93
36	1200	7/06/2023	5/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.200	1.92	3.90	38.99	1218.10

De igual forma que la densidad, la resistencia también se proyectó y se tuvo la siguiente premisa antes de realizar la mezcla de concreto celular y hacer las respectivas pruebas (ver tabla 4.14).

**Tabla 4.14***Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>*

<b>Resistencia proyectada</b>	<b>Resistencia MPa</b>	4.76	<b>Resistencia obtenida</b>	<b>Resistencia MPa</b>	4.18
	<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	48.58		<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	42.62

La cual varió en un 12 % aproximadamente. Sin embargo, es necesario indicar que este concreto no es estructural, por lo cual la resistencia no tiene una incidencia como otras propiedades intrínsecas al concreto celular.

#### 4.3.4. Ensayo de compresión axial a las probetas que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.15***Resultados de la rotura de probetas con densidad 900 kg/m<sup>3</sup>*

<b>Probetas</b>													
<b>N°</b>	<b>Densidad Proyectada (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Fecha De Elaboración</b>	<b>Fecha De Rotura</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>D1 (m)</b>	<b>D2 (m)</b>	<b>Promedio (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad Calculada (kg/m<sup>3</sup>)</b>
37	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.53	1.45	14.53	948.88
38	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.45	1.17	11.72	919.33
39	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.54	1.63	16.326	958.80
40	900	13/06/2023	20/06/2023	7	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.54	1.57	15.68	953.26
41	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.200	1.56	1.88	18.816	991.29

Probetas													
N°	Densidad Proyectada (kg/m3)	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	D1 (m)	D2 (m)	Promedio (m)	Área (m2)	Altura (m)	Peso (kg)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm2)	Densidad Calculada (kg/m3)
42	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.46	1.74	17.436	924.41
43	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.74	1.96	19.591	1081.94
44	900	13/06/2023	27/06/2023	14	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.201	1.47	1.41	14.064	916.54
45	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.52	2.32	23.248	967.47
46	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0078	0.201	1.61	2.61	26.121	1019.16
47	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.100	0.100	0.100	0.0079	0.200	1.56	2.51	25.088	989.55
48	900	13/06/2023	11/07/2023	28	0.101	0.101	0.101	0.0080	0.200	1.53	1.88	18.752	951.20

De igual forma que la densidad, la resistencia también se proyectó y se tuvo la siguiente premisa antes de realizar la mezcla de concreto celular y hacer las respectivas pruebas (Ver tabla 4.16).

**Tabla 4.16**

*Resistencia proyectada y resistencia promedio obtenida del concreto con densidad de 900 kg/m3*

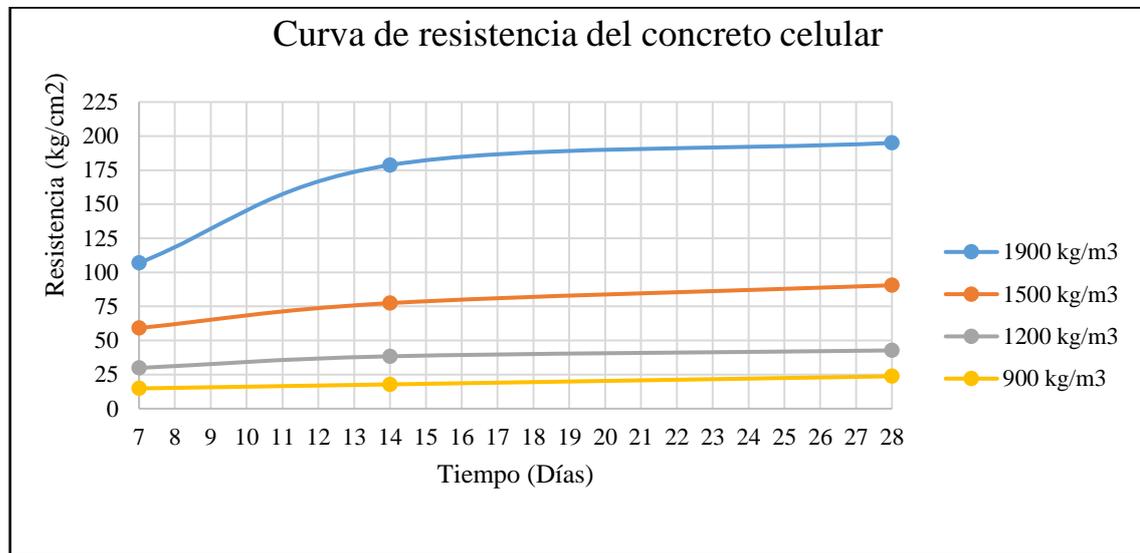
Resistencia proyectada	Resistencia MPa	2.42	Resistencia obtenida	Resistencia MPa	2.33
	Resistencia kg/cm2	25.11		Resistencia kg/cm2	23.75

La cual varió en un 4 % aproximadamente. Sin embargo, es necesario indicar que este concreto no es estructural, por lo cual la resistencia no tiene una incidencia como otras propiedades intrínsecas al concreto celular.

### 4.3.5. Curva de resistencia del concreto celular

**Figura 4.2**

*Curva de resistencia del concreto celular*



### 4.3.6. Dimensiones de los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.17**

*Resultados del dimensionamiento de cada bloque*

Bloque	Ancho (A) m	Altura (H) m	Longitud (L) m	Pared Interna 1	Pared Interna 2	Peso g	Peso kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>
1	0.1201	0.1906	0.3909	0.0349	0.1703	8036	8.04	898.07
2	0.1204	0.1902	0.3902	0.0350	0.1699	8131	8.13	909.95
3	0.1202	0.1905	0.3907	0.0349	0.1702	8057	8.06	900.60
4	0.1201	0.1902	0.3908	0.0349	0.1702	7735	7.74	866.47
5	0.1197	0.1906	0.3903	0.0347	0.1700	8509	8.51	955.57
6	0.1198	0.1904	0.3909	0.0347	0.1703	8415	8.42	943.77
7	0.1201	0.1907	0.3907	0.0349	0.1702	8218	8.22	918.39
8	0.1199	0.1901	0.3901	0.0348	0.1699	8109	8.11	911.99
9	0.1201	0.1904	0.3905	0.0349	0.1701	7958	7.96	891.20
10	0.1202	0.1902	0.3907	0.0349	0.1702	8385	8.39	938.74
11	0.1201	0.1907	0.3901	0.0349	0.1699	8720	8.72	975.99
12	0.1200	0.1906	0.3901	0.0348	0.1699	8560	8.56	959.39
13	0.1200	0.1902	0.3902	0.0348	0.1699	8734	8.73	980.70
14	0.1203	0.1902	0.3908	0.0350	0.1702	7886	7.89	881.91
15	0.1201	0.1902	0.3902	0.0349	0.1699	8705	8.71	976.63

<b>Bloque</b>	<b>Ancho (A) m</b>	<b>Altura (H) m</b>	<b>Longitud (L) m</b>	<b>Pared Interna 1</b>	<b>Pared Interna 2</b>	<b>Peso g</b>	<b>Peso kg</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>
<b>16</b>	0.1200	0.1908	0.3904	0.0348	0.1700	8316	8.32	930.35
<b>17</b>	0.1201	0.1901	0.3906	0.0349	0.1701	8500	8.50	953.15
<b>18</b>	0.1199	0.1902	0.3902	0.0348	0.1699	8520	8.52	957.46
<b>19</b>	0.1200	0.1908	0.3907	0.0348	0.1702	8434	8.43	942.82
<b>20</b>	0.1201	0.1904	0.3902	0.0349	0.1699	8392	8.39	940.52

- **Consistencia Dimensional:**

Los bloques ensayados exhiben una notable consistencia en sus dimensiones, con ligeras variaciones en el ancho, altura y longitud (ver tabla 4.17).

- **Variabilidad en Peso y Densidad:**

Se observa cierta variabilidad en los datos de peso y densidad entre los bloques (ver tabla 4.17). Este aspecto presenta una oportunidad significativa para investigar las posibles fuentes de variación, con el objetivo de comprender mejor el comportamiento del bloque durante las pruebas de alabeo y dimensionamiento.

#### 4.3.7. Ensayo de compresión axial a bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.18**

*Resultados de la rotura de los bloques con densidad de 900kg/m<sup>3</sup>*

Bloques										
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Peso (kg)	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
1	900	17/11/2023	24/11/2023	7	468.30	8.41	60.60	6179.47	13.19	943.77
2	900	17/11/2023	24/11/2023	7	469.23	8.21	55.60	5669.62	12.08	918.39
3	900	17/11/2023	24/11/2023	7	467.73	8.11	58.82	5997.96	12.82	911.99
4	900	17/11/2023	1/12/2023	14	468.99	7.96	73.32	7476.55	15.94	891.20
5	900	17/11/2023	1/12/2023	14	469.62	8.39	76.72	7823.26	16.65	938.74
6	900	17/11/2023	1/12/2023	14	468.51	8.72	79.98	8156.09	17.40	975.99
7	900	17/11/2023	15/12/2023	28	468.12	8.56	105.60	10768.5	23.00	959.39
8	900	17/11/2023	15/12/2023	28	468.24	8.73	110.49	11266.43	24.06	980.70
9	900	17/11/2023	15/12/2023	28	470.13	7.89	90.75	9253.51	19.68	881.91

La resistencia promedio de los bloques a los 28 días fue de 21.245 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente (ver tabla 4.18), lo cual viene a ser una elevada resistencia para un elemento no estructural. Asimismo, se puede verificar que la resistencia del concreto llega al 60-70% aproximadamente de su resistencia a los 7 días, además la variación que existen entre los datos de la tabla anterior puede deberse a diversos factores como: El proceso de curado, alabeo o deformaciones excesivas de los bloques debido a su producción o daños durante su manipulación, transporte y/o desencofrado.

#### 4.3.8. Ensayo de compresión axial a pilas de bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.19**

*Resultados de la rotura de las pilas*

Pilas							
Nº	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	17/11/2023	15/12/2023	28	468.12	93.38	9522.71	20.34
2	17/11/2023	15/12/2023	28	468.07	112.71	11493.32	24.55
3	17/11/2023	15/12/2023	28	468.7	91.92	9373.63	19.99

La resistencia promedio de las pilas fue de 22.63 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, la cual es sensiblemente mayor que la resistencia individual de los bloques. Por otro lado, la carga máxima alcanzada por la pila fue de 11493.321 kg (ver tabla 4.19) o su equivalente en toneladas que es 11.49 ton, la cual fue repartida en un área de 468.1 cm<sup>2</sup> que es la superficie de la pila capeada con yeso y cemento.

#### 4.3.9. Ensayo para obtener el módulo de elasticidad del concreto que posee una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.20**

*Resultado del cálculo del módulo de Young*

Módulo de elasticidad						
Probeta	Índice	Carga " $\sigma$ " (MPa)	Lo (cm)	Lf (cm)	$\epsilon$	E (MPa)
1	$\sigma_1$	0.73	30	29.99	0.00005	7131.55
	$\sigma_2$	1.04	30	29.99	0.00009286	
2	$\sigma_1$	0.71	30	29.99	0.00005	6630.17
	$\sigma_2$	1.04	30	29.99	0.00010008	
3	$\sigma_1$	0.74	30	29.99	0.00005	7281.93
	$\sigma_2$	1.04	30	29.99	0.00009039	

El módulo de elasticidad calculado se encuentra en un rango de 335.18 MPa a 361.61 MPa (ver tabla 4.20).

#### 4.4. Resultados físicos

##### 4.4.1. Ensayo de permeabilidad a las probetas que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

#### Ensayo de permeabilidad con carga variable

**Tabla 4.21**

*Resultados del ensayo de permeabilidad - Carga Variable*

N° Prueba	Tiempo (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	L Probeta (cm)	Área Probeta (cm <sup>2</sup> )	Área Tubería (cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
1	1.13	50	11.2	20	78.5	0.19	0.074
2	1.14	50	11.8	20	78.5	0.19	0.072
3	1.14	50	11.8	20	78.5	0.19	0.072
4	1.15	50	11.4	20	78.5	0.19	0.073
5	1.16	50	11.6	20	78.5	0.19	0.073
6	1.16	50	11.6	20	78.5	0.19	0.072
7	1.16	50	11.5	20	78.5	0.19	0.073

La permeabilidad tuvo un rango entre 0.072196 cm/s y 0.0748 cm/s en condiciones de ambiente y temperatura controlados. (ver tabla 4.20)

#### Ensayo de permeabilidad con carga constante

**Tabla 4.22**

*Resultados del ensayo de permeabilidad - Carga Constante*

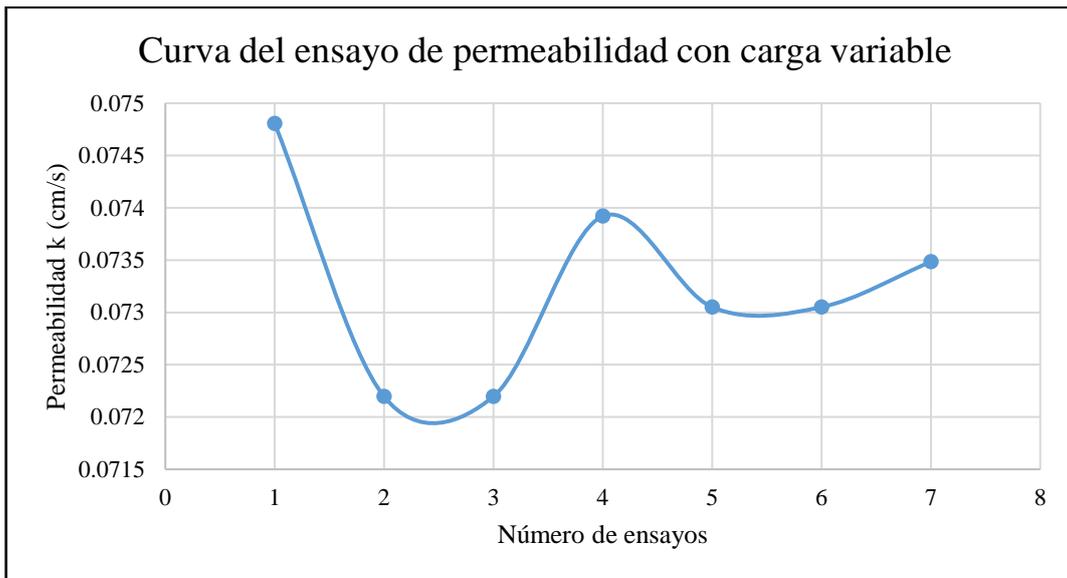
N° Prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Q (L/s)	L Probeta (cm)	Área Probeta (cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
1	30	60	0.50	20	78.5	0.0042
2	29.4	58	0.50	20	78.5	0.0043
3	29.6	59	0.50	20	78.5	0.0043
4	29.6	59	0.50	20	78.5	0.0042
5	29.7	59	0.50	20	78.5	0.0043
6	29.6	60	0.49	20	78.5	0.0042
7	30	61	0.49	20	78.5	0.0041

La permeabilidad tuvo un rango entre 0.00417 cm/s y 0.004392 cm/s en condiciones de ambiente y temperatura controlados (ver tabla 4.21).

#### 4.4.2. Curva de permeabilidad con carga variable

**Figura 4.3**

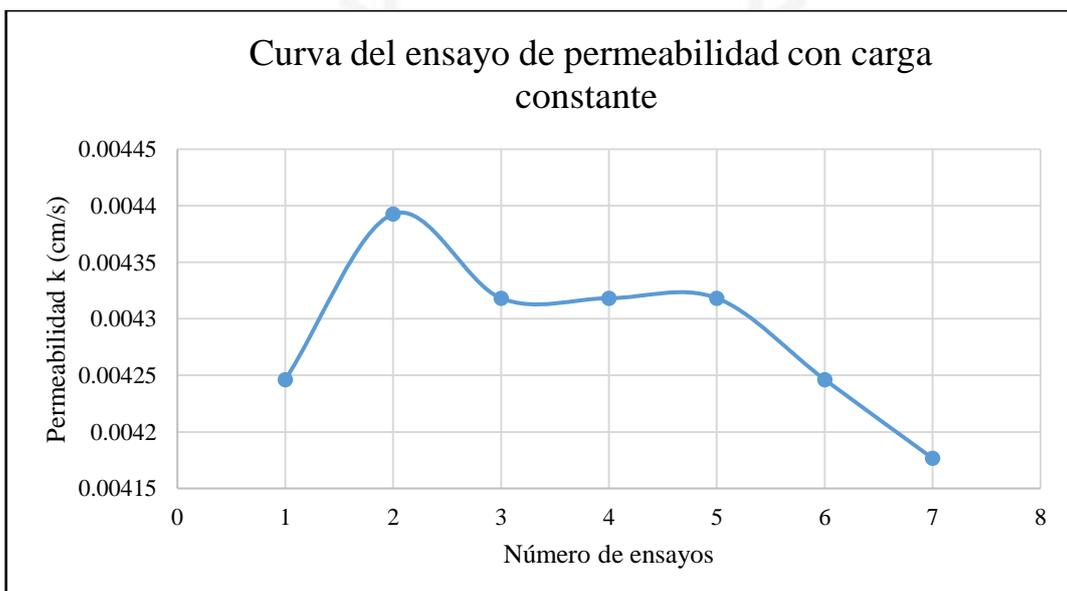
*Curva de permeabilidad con carga variable*



#### 4.4.3. Curva de permeabilidad con carga constante

**Figura 4.4**

*Curva de permeabilidad con carga constante*



#### 4.4.4. Ensayo de absorción a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.23**

*Resultados del % de absorción de los bloques*

Bloques					
N°	Ws (kg)	Wd (kg)	Wi (kg)	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)
1	8.59	6.93	6.54	0.80	23.79
2	8.58	6.94	6.72	0.88	23.71
3	8.58	6.93	6.34	0.73	23.74

La absorción de los bloques tuvo un rango entre el 23.718 % y el 23.793 % en condiciones de ambiente y temperatura controlados (ver tabla 4.23).

#### 4.4.5. Ensayo de aislamiento acústico a los bloques que poseen una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 4.24**

*Medición de los decibeles - Emisor Y Receptor*

	Frecuencia (Hz)	Decibeles (Db)		Frecuencia (Hz)	Decibeles (Db)
	Emisor	20		98.1	Receptor
25		101.1	25	72.4	
30		101.4	30	75.7	
35		100.7	35	81.6	
40		102.3	40	83.3	
50		101.6	50	76.1	
65		103.1	65	86.4	

Rango de los decibeles previos al ensayo: 98.1 Db y 103.1 Db (ver tabla 4.24).

Rango de los decibeles alcanzados durante el ensayo: 86.4 Db y 69.1 Db (ver tabla 4.24).

**Tabla 4.25**

*Resultados del coeficiente de absorción acústica*

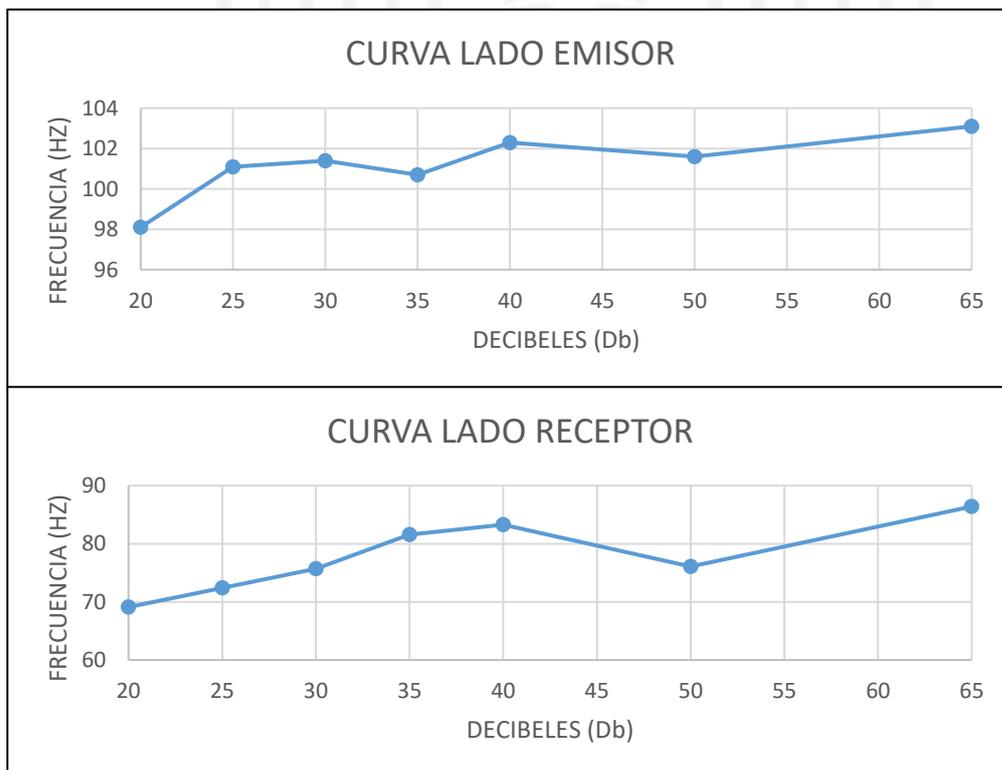
<b>Intensidad Sonora I<sub>o</sub></b>	<b>Intensidad Reflejada I<sub>r</sub></b>	<b>Intensidad Absorbida A</b>	<b>Coefficiente De Absorción Acústica A</b>
101.1	72.4	28.7	0.28
101.4	75.7	25.7	0.2
100.7	81.6	19.1	0.18
102.3	83.3	19	0.18
101.6	76.1	25.5	0.25
103.1	86.4	16.7	0.16

El rango de los coeficientes alfa de absorción obtenidos está en un rango de 0.1619 a 0.2838 (ver tabla 4.25).

#### 4.4.6. Curva de frecuencias y decibeles del lado emisor y receptor

**Figura 4.5**

*Curva de frecuencias y decibeles del lado emisor y receptor*



## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Selección del diseño de concreto celular con la densidad más idónea respecto a su trabajabilidad y manipulación

**Tabla 5.1**

*Resumen de la resistencia y densidad de cada diseño proyectado*

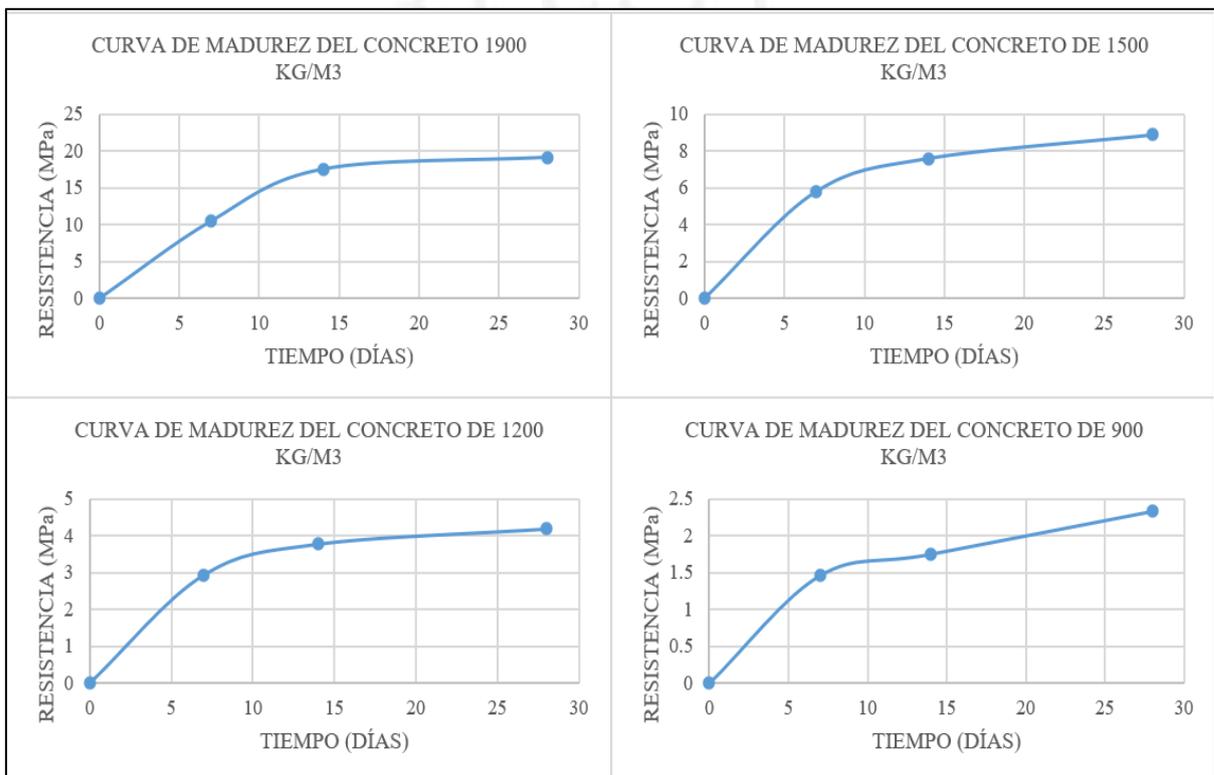
Probetas								
N°	Densidad Proyectada (kg/m <sup>3</sup> )	Edad (Días)	Peso (kg)	Resistencia (MPa)	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg/cm <sup>2</sup>	Densidad Calculada (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio Calculada (kg/m <sup>3</sup> )
<b>9</b>	<b>1900</b>	28	3.05	19.21	192.1	191.22	1935.29	1930.68
<b>10</b>		28	3.10	19.02	190.2		1922.04	
<b>11</b>		28	3.03	18.89	188.9		1885.53	
<b>12</b>		28	3.13	19.37	193.7		1979.84	
<b>21</b>	<b>1500</b>	28	2.34	8.83	88.3	88.76	1485.61	1510.38
<b>22</b>		28	2.38	8.73	87.3		1478.68	
<b>23</b>		28	2.47	9.02	90.2		1539.40	
<b>24</b>		28	2.42	8.92	89.2		1537.82	
<b>33</b>	<b>1200</b>	28	1.98	4.28	42.7	41.89	1232.39	1241.61
<b>34</b>		28	1.98	4.39	43.8		1261.02	
<b>35</b>		28	1.98	4.19	41.9		1254.93	
<b>36</b>		28	1.92	3.90	38.9		1218.10	
<b>45</b>	<b>900</b>	<b>28</b>	<b>1.52</b>	<b>2.32</b>	<b>23.2</b>	<b>23.30</b>	<b>967.47</b>	<b>981.84</b>
<b>46</b>		<b>28</b>	<b>1.61</b>	<b>2.61</b>	<b>26.1</b>		<b>1019.16</b>	
<b>47</b>		<b>28</b>	<b>1.56</b>	<b>2.51</b>	<b>25.0</b>		<b>989.55</b>	
<b>48</b>		<b>28</b>	<b>1.53</b>	<b>1.88</b>	<b>18.7</b>		<b>951.20</b>	

La elección de la densidad más idónea radicó primero en la facilidad de su elaboración y su trabajabilidad, ya que era notorio que mientras más bajaba la densidad, el concreto iba perdiendo su resistencia debido a la estructura porosa que es característica del concreto celular, sin embargo, al llegar a la densidad de 900 kg/m<sup>3</sup> el concreto no se agrietó ni volvió frágil. Era bastante manipulable y se visualizaba una buena consolidación de los materiales, además de que el peso que tenía era radicalmente menor que una probeta de

concreto convencional o inclusive, una probeta de concreto celular con densidades mayores como 1900 kg/m<sup>3</sup> o 1500 kg/m<sup>3</sup> y sensiblemente menor a la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup> (ver tabla 5.1). Otro factor que contribuyó a la elección de esta densidad fue la reducción drástica del agregado fino en un 30% aproximadamente entre cada densidad fabricada.

**Figura 5.1**

*Curvas de madurez de cada densidad elaborada*



Por otro lado, es necesario enfatizar que la resistencia alcanzada con las densidades diseñadas de 1900 kg/m<sup>3</sup>, 1500 kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> y 900 kg/m<sup>3</sup> a los 7 días fue del 70% aproximadamente de la resistencia a compresión F<sub>c</sub>. Lo cual se visualiza en las curvas de madurez de cada densidad.

## 5.2 Resistencia promedio a la compresión de los bloques de concreto celular con densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.2***Resistencia promedio de los bloques*

Bloques							
N°	Edad (Días)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Peso (kg)	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
7	28	468.12	8.56	105.60	10768.50	23.00	22.25
8	28	468.24	8.734	110.49	11266.43	24.06	
9	28	470.13	7.886	90.75	9253.51	19.68	

**-Edad (días):**

Todos los bloques tienen una edad de 28 días, lo que es común en las pruebas de resistencia del concreto. Cabe mencionar que esta es la edad estándar para evaluar la resistencia a la compresión.

**-Área Bruta y Peso:**

El área bruta y el peso varían ligeramente entre los bloques, pero no parece existir una tendencia clara. Estas variaciones están dentro de los límites aceptables y no podrían afectar la resistencia.

**-Carga y Resistencia:**

La carga aplicada varía entre los bloques, y la resistencia del concreto está en el rango de 19.68 a 24.06 kg/cm<sup>2</sup> (ver tabla 5.2). Es importante destacar que la carga aplicada en kilo newtons (KN) puede compararse directamente con la resistencia en kg/cm<sup>2</sup>.

**-Resistencia Promedio:**

El promedio de resistencia del concreto de los tres bloques es aproximadamente 22.25 kg/cm<sup>2</sup>. Esto proporciona una medida general de la calidad del concreto utilizado en los bloques.

**-Variabilidad de la Resistencia:**

La variabilidad de la resistencia entre los bloques puede indicar la consistencia en la producción.

### -Comportamiento ante la aplicación gradual de una carga

La carga máxima obtenida fue tomada del punto de ruptura (ver Anexo 11),

### 5.3 Resistencia promedio a la compresión de las pilas de concreto celular con densidad 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.3**

*Resistencia promedio de las pilas*

Pilas						
N°	Edad (Días)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
1	28	468.12	93.38	9522.71	20.34	24.07
2	28	468.07	112.71	11493.32	24.55	
3	28	468.7	91.92	9373.63	19.99	

- **Edad (días):**

Al igual que los bloques, las pilas también tienen una edad de 28 días, que es común en las pruebas de resistencia del concreto.

- **Área Bruta:**

Las áreas brutas de las pilas son similares, lo que indica que se están utilizando secciones transversales comparables para las pruebas.

- **Carga y Resistencia:**

La carga aplicada varía entre las pilas, y la resistencia del concreto oscila entre 19.99 y 24.55 kg/cm<sup>2</sup>. (ver tabla 5.3).

- **Resistencia Promedio:**

El promedio de resistencia del concreto para las pilas es aproximadamente 22.3 kg/cm<sup>2</sup>.

- **Variabilidad de la Resistencia:**

Existe una baja variabilidad por lo que indica una uniformidad en el proceso de producción y curado

- **Comportamiento ante la aplicación gradual de una carga**

La carga máxima obtenida fue tomada del punto de ruptura (ver Anexo 12).

## 5.4 Permeabilidad promedio del concreto celular con densidad 900 kg/m<sup>3</sup>

### CARGA VARIABLE

**Tabla 5.4**

*Permeabilidad promedio - Carga Variable*

N° prueba	Tiempo (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	L probeta (cm)	Área probeta (cm <sup>2</sup> )	Área tubería (cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)	K promedio (cm/s)
1	1.13	50	11.2	20	78.5	0.19	0.07	0.07
2	1.14	50	11.8	20	78.5	0.19	0.07	
3	1.14	50	11.8	20	78.5	0.19	0.07	
4	1.15	50	11.4	20	78.5	0.19	0.07	
5	1.16	50	11.6	20	78.5	0.19	0.07	
6	1.16	50	11.6	20	78.5	0.19	0.07	
7	1.16	50	11.5	20	78.5	0.19	0.07	

- **Carga Aplicada:**

La carga aplicada se mantiene igual en todos los casos, con un valor de 50 centímetros, la cual fue variando en un determinado tiempo para 7 pruebas efectuadas. Este enfoque de carga variable proporciona una base para evaluar las variaciones en los resultados.

- **Resultados Relacionados con la Carga:**

Los resultados asociados con la carga, representados en la columna de permeabilidad K varían mínimamente, con lo cual no se muestra una variabilidad notoria en los resultados obtenidos.

En resumen, los resultados sugieren que, bajo carga variable, no reflejan una variabilidad que pueda afectar a los datos. Por lo que, calculando un promedio de permeabilidad, se obtuvo el valor de 0.0073242411 cm/s (ver tabla 5.4), resultando una permeabilidad elevada frente a otros materiales que la misma está en el orden de unidad o decena de mil con respecto a los decimales.

## CARGA CONSTANTE

**Tabla 5.5**

*Permeabilidad promedio - Carga constante*

N° prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Q (L/s)	L probeta (cm)	Área probeta (cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)	K promedio (cm/s)
1	30	60	0.5	20	78.5	0.00424628	0.0042881
2	29.4	58	0.50	20	78.5	0.00439271	
3	29.6	59	0.50	20	78.5	0.00431826	
4	29.6	59	0.50	20	78.5	0.00431826	
5	29.7	59	0.50	20	78.5	0.00431826	
6	29.6	60	0.49	20	78.5	0.00424628	
7	30	61	0.49	20	78.5	0.00417667	

- **Tiempo (s):**

Los experimentos se llevaron a cabo en un rango de tiempo de 29.4 a 30 segundos.

- **Volumen (L):**

El volumen de fluido obtenido en un determinado tiempo para cada número de prueba varía entre 58 y 61 litros durante el tiempo de prueba.

- **Q (L/s):**

La tasa de flujo (Q) fluctúa entre 0.491803 y 0.506897 L/S, lo cual indica una posible variación despreciable respecto a la velocidad del fluido

- **Coefficiente de Permeabilidad (K) (cm/s):**

Los valores de K (coeficiente de permeabilidad) varían entre 0.00417667 y 0.00439271 cm/s (ver tabla 5.5). Estos valores indican la capacidad del material para permitir el paso de fluido, y las variaciones pueden indicar sensibilidad a las condiciones de carga constante y/o del entorno.

En resumen, los resultados muestran cómo la carga constante afecta la tasa de flujo y a el coeficiente de permeabilidad del material. Cabe mencionar que las variaciones en Q y K indican la respuesta del material.

## 5.5 Absorción Promedio de bloques de concreto celular con densidad 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.6**

*Porcentaje (%) promedio de absorción de los bloques*

Bloques							
N°	Ws (kg)	Wd (kg)	Wi (kg)	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Absorción Promedio (%)
1	8.59	6.93	6.54	0.80	0.80	23.79	23.75
2	8.58	6.94	6.72	0.88		23.71	
3	8.58	6.93	6.34	0.73		23.74	

La absorción de agua de los bloques se sitúa en torno al 23.753%, denotando una capacidad moderada de retención de agua en estos bloques de concreto celular. Por otro lado, las variaciones en la absorción expresada en kg/m<sup>3</sup>, derivadas de la prueba de los tres bloques, muestran un valor de 0.807 kg/m<sup>3</sup> (ver tabla 5.6), indicando que no se observaron discrepancias significativas entre los resultados individuales.

## 5.6 Aislamiento acústico de bloques con densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.7**

*Coefficiente promedio de absorción acústica*

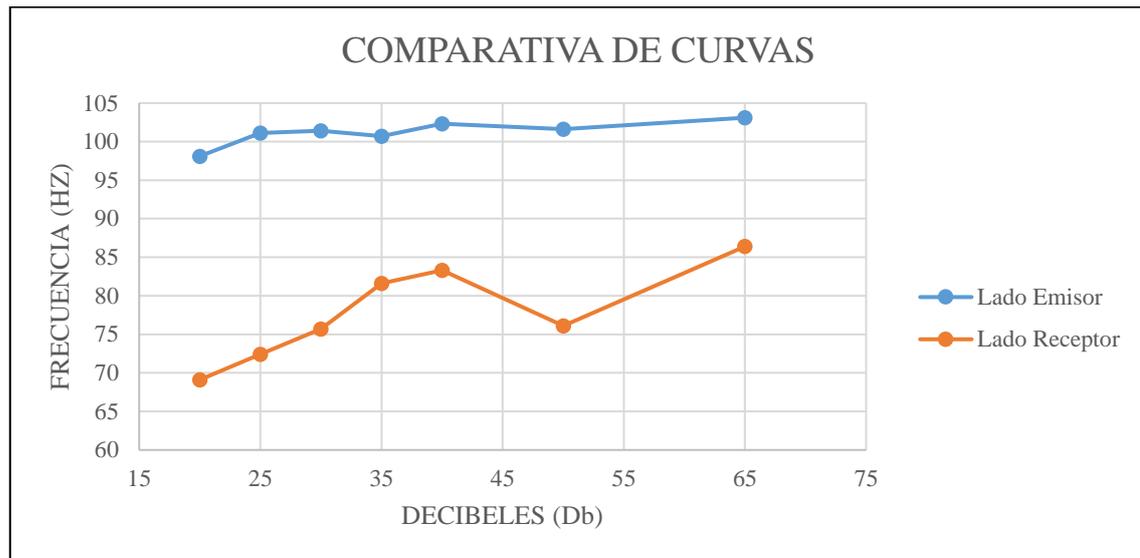
Intensidad Sonora I <sub>o</sub> (Db)	Intensidad Reflejada I <sub>r</sub> (Db)	Intensidad Absorbida A (Db)	Coefficiente De Absorción Acústica A	Prom Coeficiente De Absorción Acústica A
98.1	69.1	29	0.29	0.23
101.1	72.4	28.7	0.28	
101.4	75.7	25.7	0.25	
100.7	81.6	19.1	0.18	
102.3	83.3	19	0.18	
101.6	76.1	25.5	0.25	
103.1	86.4	16.7	0.16	

En el ensayo de aislamiento acústico se evidenció una variación entre 20 y 30 decibeles, lo cual es sustancialmente notorio a la hora de aislar un ambiente, por otro lado, el valor

promedio del coeficiente de absorción acústica alfa es de 0.231615 unidimensional (ver tabla 5.7). Es importante destacar que el intervalo dentro del cual se encuentra ese coeficiente es de 0 a 1. Siendo 0 un material totalmente reflectante y 1 un material absorbente.

**Figura 5.2**

*Curva de frecuencias y decibeles obtenidos*



### 5.7 Módulo de elasticidad promedio del concreto celular con densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.8**

*Módulo de Young estimado*

Módulo de elasticidad							
Probeta	Índice	Carga " $\sigma$ " (MPa)	Lo (cm)	Lf (cm)	$\epsilon$	E (MPa)	E <sub>prom</sub> (MPa)
1	$\sigma_1$	0.73	30	29.99	0.00005	7131.55	7014.55
	$\sigma_2$	1.04	30	29.99	0.00009286		
2	$\sigma_1$	0.71	30	29.99	0.00005	6630.17	
	$\sigma_2$	1.04	30	29.99	0.00010008		
3	$\sigma_1$	0.74	30	29.99	0.00005	7281.93	
	$\sigma_2$	1.04	30	29.99	0.00009039		

El hecho de que el concreto celular tenga una densidad de 900 kg/m<sup>3</sup> indica una baja densidad en comparación con el concreto convencional. Sin embargo, el módulo de

Young de 7014.55584 MPa (ver tabla 5.8), sugiere que el material mantiene una rigidez significativa en relación con su baja densidad, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones donde se busca un equilibrio entre resistencia y peso. Asimismo, la combinación de baja densidad y un módulo de Young relativamente moderado sugiere que este concreto celular podría ser adecuado para aplicaciones estructurales livianas, como paneles de construcción, particiones o componentes de construcción donde se requiera resistencia y rigidez, pero se busque minimizar el peso total de la estructura.



## 5.8 Comparativa entre los bloques de concreto celular con densidad 900 kg/m<sup>3</sup> y concreto convencional con densidad 2400 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.9**

*Comparativa de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto celular con los bloques de concreto convencional*

<b>Comparativa De Bloques De Concreto Celular Con Bloques De Concreto Convencional De Distintos Fabricantes</b>															
<b>Fabricantes</b>	<b>Fabricante 1 (Ver Anexo 13)</b>			<b>Fabricante 2 (Ver Anexo 13)</b>			<b>Fabricante 3 (Ver Anexo 13)</b>			<b>Fabricante 4 (Ver Anexo 13)</b>			<b>Concreto Celular</b>		
<b>Dimensiones</b>	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)
	12	39	19	12	39	19	12	39	19	12	39	19	12	39	19
<b>Peso (kg)</b>	11.65			11.8			11.7			11.5			8		
<b>Peso Muro (kg/m<sup>2</sup>)</b>	156.12			158			156.75			158			110		
<b>Absorción (%)</b>	12%			7%			12%			12%			23.75%		
<b>Resistencia Individual (MPa)</b>	11			9			6			6.86			2		
<b>Resistencia Pila (MPa)</b>	13			-			7			7			2,8		
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2073			2100			2080			2100			900		
<b>Permeabilidad (cm/s)</b>	1×10 <sup>-9</sup>			7.32 X 10 <sup>-2</sup>											
<b>Coefficiente De Absorción Acústica A</b>	0.01 - 0.05			0.01 - 0.05			0.01 - 0.05			0.01 - 0.05			0.23		

## 6 CONCLUSIONES

- En el diseño del concreto celular con densidades de 1900 kg/m<sup>3</sup>, 1500kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> y 900 kg/m<sup>3</sup> se pudo evidenciar que el concreto resultante tiene una densidad de alrededor 7 % mayor a la densidad proyectada en el diseño, siendo uno de los factores debido a su contenido de humedad en esta fresco y estado seco, lo cual se confirma en las observaciones que brinda el tópico ACI referido al concretos de bajas densidades. Asimismo, existe una relación directamente proporcional entre la densidad de los bloques de concreto celular y la resistencia a la compresión máxima que pueden llegar a desarrollar. A medida que aumenta la densidad, aumenta la resistencia a la compresión, y viceversa. Por otro lado, a pesar de que los bloques de concreto celular tienen una resistencia inferior en comparación con el concreto convencional, su notoria ventaja radica en su total manipulabilidad dado que el peso varía significativamente pasando de 11.8 kg en bloques de concreto convencional a 8 kg en bloques de concreto celular, lo cual es una reducción aproximada del 32.2% de peso. Asimismo, la capacidad de ser transportados y colocados sin riesgo de fracturas o agrietamientos los convierte en una opción viable en aplicaciones donde la manipulación sencilla sea esencial, proporcionando así flexibilidad en su uso en diversos procesos constructivos.
- Se midieron los coeficientes de permeabilidad del concreto celular con una densidad elegida de 900 kg/m<sup>3</sup> y se verificó que el coeficiente tiene un valor mayor al concreto convencional de 2400 kg/m<sup>3</sup>, debido a su estructura porosa. Además, el concreto celular posee una permeabilidad elevada en comparación con el concreto convencional, atribuida a su estructura celular que facilita el paso de fluidos. Esta característica lo posiciona como una opción preferible en proyectos donde el control y la gestión eficiente de la permeabilidad son aspectos críticos para el rendimiento de las estructuras construidas.
- La diferencia en el porcentaje de absorción entre el concreto celular (23.75%) y el concreto convencional (aproximadamente 12%) es sustancial y resalta la relevancia de seleccionar el tipo de bloques de concreto en función de las necesidades específicas del proyecto.

- El concreto celular presenta una mejor capacidad aislante frente al concreto convencional, debido a que este presenta un coeficiente alfa de absorción más cercano a 1, lo cual indica que el material es más absorbente que reflectivo, y esto es lo que se busca a la hora de aislar un ambiente. Mientras que el concreto convencional tiene un coeficiente alfa cercano a 0, lo cual indica que el material es más reflectivo que absorbente.



## 7 RECOMENDACIONES

A continuación, detallaremos las recomendaciones:

- Se recomienda profundizar en el estudio de métodos de curado específicos para concretos de baja densidad. Este enfoque puede prevenir de manera efectiva la formación de fisuras, especialmente en situaciones con tensiones superiores a la resistencia recomendada (por ejemplo, por debajo de 800 kg/m<sup>3</sup>) o debido a retracciones térmicas o hidráulicas. Un análisis detallado de estas variables contribuirá significativamente a mejorar la durabilidad y resistencia del concreto celular.
- Se sugiere optar por alveolos circulares en lugar de cuadrados. Esta elección no solo simplifica la fabricación y desencofrado, sino que también mejora la eficiencia estructural. La adopción de esta forma no solo facilita el proceso, sino que también puede optimizar el uso de materiales, fortaleciendo la resistencia general del concreto celular.
- Se recomienda la utilización de una mesa vibratoria para la compactación de concretos fluidos, como el celular. Las vibraciones generadas por esta herramienta aseguran un movimiento uniforme de las partículas, logrando así una compactación eficiente que elimina la segregación, mejora la adherencia y aumenta la productividad del proceso constructivo.
- Es crucial evaluar cuidadosamente el arriostramiento de los bloques de concreto celular, considerando la variedad de métodos constructivos disponibles. Dada la ligereza de estos bloques, se recomienda seleccionar un método que se adapte a sus características, garantizando así la estabilidad y resistencia estructural necesarias para su aplicación.
- Se sugiere estudiar a fondo el proceso de producción en masa, prestando especial atención al tiempo de encofrado necesario para el concreto celular fluido. Asegurar un tiempo de fraguado y encofrado adecuado es esencial para obtener las propiedades mecánicas y estructurales deseadas.

- Se recomienda realizar comparativas con otros materiales bajo condiciones similares de exposición al fuego. Esta futura y posible investigación proporcionará una comprensión más completa de la resistencia al fuego del concreto celular y su viabilidad en entornos de riesgo.



## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asadi, I., Shafigh, P., Hassan, Z. B. A., & Mahyuddin, N. (2018). Thermal conductivity of concrete – A review. *Journal of Building Engineering*, 20, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.002>
- Borbon-Almada, A. C., Lucero-Álvarez, J., Rodriguez-Muñoz, N. A., Ramirez-Celaya, M., Castro-Brockman, S., Sau-Soto, N., & Najera-Trejo, M. (2020). Design and application of cellular concrete on a mexican residential building and its influence on energy savings in hot climates: Projections to 2050. *Applied Sciences (Switzerland)* .( Volume 10, Issue 22, Pages 1 – 22) <https://doi.org/10.3390/app10228225>
- CAPECO. (2003). *Costos y Presupuestos en Edificación*. Lima, Perú: CAPECO.
- Garcia, F. (2014). Equipo para la fabricacion de hormigones celulares técnicos (Catalogo No. AG-300/60-R) (p. 18).
- Holmes, N., Browne, A., & Montague, C. (2014). Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. *Construction and Building Materials*, 73, 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.107>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2008). NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Lima, Perú: Autor.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2017). NTP 339.036: Concreto. Práctica Normalizada para Muestreo de Mezclas de Concreto Fresco. Lima, Perú: Autor.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 399.605: Unidades de Albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. Lima, Perú: Autor.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2002). NTP 399.604: Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Lima, Perú: Autor.
- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., & Chindaprasirt, P. (2011). Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials. *Procedia engineering*, 14, 1157–1164. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.145>
- Liu, X., Qian, X., Shikun, P., Sheng, K., Sun, D., & Hong, B. (2022). Methods for testing the quality of lightweight cellular concrete during pouring. *Construction and Building Materials* .Volume 315. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125755>

- Narayanan, N., & Ramamurthy, K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cement & Concrete Composites*, 22(5), 321–329. [https://doi.org/10.1016/s0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(00)00016-0)
- Panesar, D. K. (2013). Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents. *Construction and Building Materials*, 44, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.024>
- Pellenq, R. J., & Van Damme, H. (2004). Why Does Concrete Set?: The Nature of Cohesion Forces in Hardened Cement-Based Materials. *MRS Bulletin*, 29(5), 319–323. <https://doi.org/10.1557/mrs2004.97>
- Rengifo Cuenca, M. C., & Yupangui Cushicondor, R. V. (2013, octubre 16). Estudio del hormigón celular (Thesis). QUITO/EPN/2013. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6841>
- Siddique, R., & Khan, M. M. (2011). Cellular concrete waste as an economical alternative to traditional supplementary cementitious materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Volume 138, Issue 2, Pages 947 - 961 <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17866-5>.
- Silva, C. A. de O., Gomes, P. C. C., Carnaúba, T. M. G. V., Falcão, V. B., & Binas Júnior, F. de A. V. (2018). Influência do aditivo espumígeno na dosagem e nas propriedades do concreto celular aerado. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(1). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0325>
- Yu, Q.L., Spiesz, P., Brouwers, H.J.H., Ultra-lightweight concrete: conceptual design and performance evaluation, *Cement & Concrete Composites* (2015), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.012>

## 9 ANEXOS

### 9.1 Anexo 01: Aditivo Sika Lightcrete:

Se utilizó el aditivo Sika Lightcrete (ver imagen 9.1), que funciona como agente espumante. Este aditivo se utiliza para crear mezclas cohesivas y livianas de concreto, aunque también puede ser usado para crear otros materiales. En la descripción del aditivo proporcionada por Sika, se informa que se usa para obtener mezclas de concreto con densidades entre los 800 y 1900 kilogramos por metro cúbico. Esta densidad depende de la dosificación del aditivo y del tipo de agregados utilizados. Se menciona que la resistencia a la compresión se dará en base a la densidad de la mezcla.

La cantidad y la calidad de la espuma en las mezclas, así como su cohesión, varían según factores como la temperatura del entorno, la composición de la mezcla, los materiales adicionales utilizados, la velocidad y duración del proceso de mezclado, la cantidad de cemento, entre otros. Para añadir la espuma generada por el aditivo a la mezcla de concreto, se debe hacer uso de una máquina compresora de aire. Aunque las especificaciones técnicas del aditivo sugieren que la compresora no es necesaria, con ella se logra una matriz de la espuma más homogénea y de mejor calidad. Esto permite que la incorporación de aire sea más efectiva. Para la investigación se probaron diferentes densidades de concreto variando la cantidad de aditivo utilizado. El aditivo no contiene cloruros. (Hoja técnica Sika).

#### Figura 9.1

*Aditivo sika lightcrete*



## 9.2 Anexo 02: Máquina espumógena

### FOAM GENERATOR

#### ASSEMBLY OF EQUIPMENT

Your Foam Generating Assembly was completely assembled, tested and calibrated at our factory. To guard against damage during shipment, the entire unit was placed on a pallet. Only the Foam Nozzle and the Foam Delivery hose were disconnected from the unit.

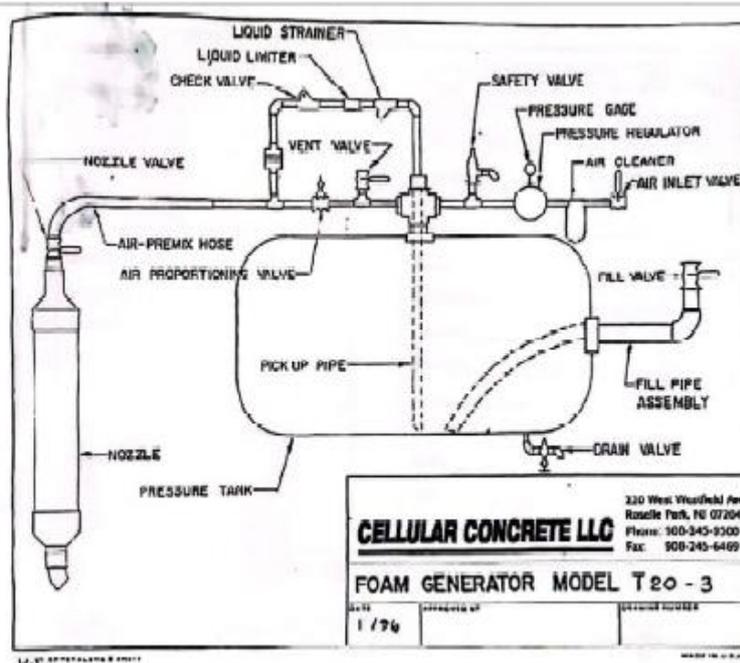
#### ASSEMBLY

- 1.- Place the Foam Generating Assembly on a level surface.
- 2.- Connect the Foam Delivery Hose.
- 3.- Attach the Nozzle to the Foam Delivery hose.
- 4.- Make sure switch is in the off position and plug unit in.
- 5.- Make sure to check oil level.

#### EXTENSION CORDS

Please note: When using an extension cord, the wire size must be a minimum of 14 AWG and capable of supporting 15 amps.

When using 50 feet or more of extension cord, the wire size must be a minimum of 12 AWG and capable of supporting 15 amps.



### 9.3 Anexo 03: Memoria de Cálculo para diseños de Mezcla y dosificaciones de Concreto Celular

#### Densidad 1900 kg/m<sup>3</sup>:

Valores iniciales del diseñador:

- Densidad: 1900 kg/m<sup>3</sup>  $800 < \gamma$
- Relación Agua/Cemento: 0.65  $0.4m < w/cm < 0.65$

Valores calculados:

- Resistencia a la compresión:

$$f'c = 0.34 \times e^{0.0022 \times \gamma_f} \text{ (Unidades SI)}$$

Resistencia calculada = 22.22 MPa o 226.62 kg/cm<sup>2</sup>

- Relación Arena/Cemento:

$$s/c = \frac{\gamma_f - 673}{345} \text{ (Unidades SI)}$$

Relación calculada = 3.55

Dosificación para 1 metro cúbico de concreto

- Cemento:  
 $C = \gamma_f / (1 + w/cm + s/cm) = 364.93 \text{ kg}$
- Arena:  
 $S = C \times s/c = 1297.87 \text{ kg}$
- Agua:  
 $W = C \times w/cm = 237.20 \text{ L}$
- Espuma:

$$A_V = 1 - V_A$$

$$V_A = C / (G_e \times \gamma_w) + W / \gamma_w + S / (G_s \times \gamma_w)$$

Densidad de la espuma: 82.13 kg/m<sup>3</sup>

Volumen de espuma: 0.165 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto ( $A_V$ ): 0.15 m<sup>3</sup>

Volumen de aire ( $V_A$ ): 0.84 m<sup>3</sup>

$$F = 0.165 \text{ m}^3 \times 82.13 \text{ kg/m}^3 = 13.59 \text{ kg}$$

Dosificación para 0.02 metros cúbicos de concreto (12 probetas de 10 cm x 20 cm más 10% de desperdicio)

- Cemento: 389.95 kg x 0.02 = 7.55 kg
- Arena: 256.57 kg x 0.02 = 26.87 kg
- Agua: 253.46 L x 0.02 = 4.91 kg
- Espuma: 45.46 kg x 0.02 = 0.28 kg

### Densidad 1500 kg/m<sup>3</sup>

Valores iniciales del diseñador:

- Densidad: 1500 kg/m<sup>3</sup>                       $800 < \gamma$
- Relación Agua/Cemento: 0.65               $0.4\text{m} < w/cm < 0.65$

Valores calculados:

- Resistencia a la compresión:

$$f'c = 0.34 \times e^{0.0022 \times \gamma_f} \text{ (Unidades SI)}$$

$$\text{Resistencia calculada} = 9.21 \text{ MPa o } 94.0 \text{ kg/cm}^2$$

- Relación Arena/Cemento:

$$s/c = \frac{\gamma_f - 673}{345} \text{ (Unidades SI)}$$

$$\text{Relación calculada} = 2.397$$

Dosificación para 1 metro cúbico de concreto

- Cemento:

$$C = \gamma_f / (1 + w/cm + s/cm) = 370.64 \text{ kg}$$

- Arena:

$$S = C \times s/c = 888.45 \text{ kg}$$

- Agua:

$$W = C \times w/cm = 240.91 \text{ L}$$

- Espuma:

$$A_V = 1 - V_A$$

$$V_A = C/(G_e \times \gamma_w) + W/\gamma_w + S/(G_s \times \gamma_w)$$

Densidad de la espuma: 82.13 kg/m<sup>3</sup>

Volumen de espuma: 0.32 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto ( $A_V$ ): 0.30 m<sup>3</sup>

Volumen de aire ( $V_A$ ): 0.69 m<sup>3</sup>

$$F = 0.3222 \text{ m}^3 \times 82.13 \text{ kg/m}^3 = 26.47 \text{ kg}$$

Dosificación para 0.02 metros cúbicos de concreto (12 probetas de 4" x 8" más 10% de desperdicio)

- Cemento: 389.95 kg x 0.02 = 7.67 kg
- Arena: 256.57 kg x 0.02 = 18.39 kg
- Agua: 253.46 L x 0.02 = 4.99 kg
- Espuma: 45.46 kg x 0.02 = 0.55 kg

### Densidad 1200 kg/m<sup>3</sup>

Valores iniciales del diseñador:

- Densidad: 1200 kg/m<sup>3</sup>  $800 < \gamma$
- Relación Agua/Cemento: 0.65  $0.4m < w/cm < 0.65$

Valores calculados:

- Resistencia a la compresión:

$$f'c = 0.34 \times e^{0.0022 \times \gamma_f} \text{ (Unidades SI)}$$

Resistencia calculada = 4.76 MPa o 48.58 kg/cm<sup>2</sup>

- Relación Arena/Cemento:

$$s/c = \frac{\gamma_f - 673}{345} \text{ (Unidades SI)}$$

Relación calculada = 1.52

Dosificación para 1 metro cúbico de concreto

- Cemento:

$$C = \gamma_f / (1 + w/cm + s/cm) = 377.65 \text{ kg}$$

- Arena:

$$S = C \times s/c = 576.88 \text{ kg}$$

- Agua:

$$W = C \times w/cm = 245.47 \text{ L}$$

- Espuma:

$$A_V = 1 - V_A$$

$$V_A = C / (G_e \times \gamma_w) + W / \gamma_w + S / (G_s \times \gamma_w)$$

Densidad de la espuma: 82.13 kg/m<sup>3</sup>

Volumen de espuma: 0.4388 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto ( $A_V$ ): 0.41 m<sup>3</sup>

Volumen de aire ( $V_A$ ): 0.58 m<sup>3</sup>

$$F = 0.4388 \text{ m}^3 \times 82.13 \text{ kg/m}^3 = 36.05 \text{ kg}$$

Dosificación para 0.02 metros cúbicos de concreto (12 probetas de 10 cm x 20 cm más 10% de desperdicio)

- Cemento: 389.95 kg x 0.02 = 7.82 kg
- Arena: 256.57 kg x 0.02 = 11.94 kg
- Agua: 253.46 L x 0.02 = 5.08 kg

Espuma: 45.46 kg x 0.02 = 0.75 kg

**Densidad 900 kg/m<sup>3</sup>**

Valores iniciales del diseñador:

- Densidad: 900 kg/m<sup>3</sup>                      800 <  $\gamma$
- Relación Agua/Cemento: 0.65              0.4m < w/cm < 0.65

Valores calculados:

- Resistencia a la compresión:

$$f'c = 0.34 \times e^{0.0022 \times \gamma_f} \text{ (Unidades SI)}$$

Resistencia calculada = 2.46 MPa o 25.11 kg/cm<sup>2</sup>

- Relación Arena/Cemento:

$$s/c = \frac{\gamma_f - 673}{345} \text{ (Unidades SI)}$$

Relación calculada = 0.65

Dosificación para 1 metro cúbico de concreto

- Cemento:

$$C = \gamma_f / (1 + w/cm + s/cm) = 389.95 \text{ kg}$$

- Arena:

$$S = C \times s/c = 256.58 \text{ kg}$$

- Agua:

$$W = C \times w/cm = 253.47 \text{ L}$$

- Espuma:

$$A_V = 1 - V_A$$

$$V_A = C / (G_e \times \gamma_w) + W / \gamma_w + S / (G_s \times \gamma_w)$$

Densidad de la espuma: 82.13 kg/m<sup>3</sup>

Volumen de espuma: 0.5535 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto ( $A_V$ ): 0.52 m<sup>3</sup>

Volumen de aire ( $V_A$ ): 0.47 m<sup>3</sup>

$$F = 0.5535 \text{ m}^3 \times 82.13 \text{ kg/m}^3 = 45.47 \text{ kg}$$

Dosificación para 0.02 metros cúbicos de concreto (12 probetas de 10 cm x 20 cm más el 10% de desperdicio)

- Cemento: 389.95 kg x 0.02 = 8.07 kg

- Arena:  $256.57 \text{ kg} \times 0.02 = 5.31 \text{ kg}$
- Agua:  $253.46 \text{ L} \times 0.02 = 5.25 \text{ kg}$
- Espuma:  $45.46 \text{ kg} \times 0.02 = 0.94 \text{ kg}$

### Dosificaciones para concreto con densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>

#### Valores iniciales del diseñador:

- Densidad: 900 kg/m<sup>3</sup>  $800 < \gamma$
- Relación Agua/Cemento: 0.65  $0.4m < w/cm < 0.65$

#### Valores calculados:

- Resistencia a la compresión:

$$f'c = 0.34 \times e^{0.0022 \times \gamma_f} \text{ (Unidades SI)}$$

Resistencia calculada = 2.46 MPa o 25.11 kg/cm<sup>2</sup>

- Relación Arena/Cemento:

$$s/c = \frac{\gamma_f - 673}{345} \text{ (Unidades SI)}$$

Relación calculada = 0.657

#### Dosificación para 1 metro cúbico de concreto

- Cemento:

$$C = \gamma_f / (1 + w/cm + s/cm) = 389.95 \text{ kg}$$

- Arena:

$$S = C \times s/c = 256.58 \text{ kg}$$

- Agua:

$$W = C \times w/cm = 253.47 \text{ L}$$

- Espuma:

$$A_V = 1 - V_A$$

$$V_A = C / (G_e \times \gamma_w) + W / \gamma_w + S / (G_s \times \gamma_w)$$

Densidad de la espuma: 82.13 kg/m<sup>3</sup>

Volumen de espuma: 0.5535 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto ( $A_V$ ): 0.52 m<sup>3</sup>

Volumen de aire ( $V_A$ ): 0.47 m<sup>3</sup>

$$F = 0.5535 \text{ m}^3 \times 82.13 \text{ kg/m}^3 = 45.47 \text{ kg}$$

**El Metrado es el siguiente:**

- Volumen de bloque: 0.00864 m<sup>3</sup>
- Volumen de probeta 10 cm x 20 cm: 0.00157 m<sup>3</sup>
- Volumen de probeta 15 cm x 30 cm: 0.00530 m<sup>3</sup>
- Cantidad de bloques: 20 unidades
- Cantidad de probetas 10 cm x 20 cm: 15 unidades
- Cantidad de probetas 15 cm x 30 cm: 3 unidades

**9.4 Anexo 03: Formato para la rotura de probetas de concreto celular**

<b>N°</b>	<b>Densidad Proyectada (kg/m3)</b>	<b>Fecha De Elaboración</b>	<b>Fecha De Rotura</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>D1 (cm)</b>	<b>D2 (cm)</b>	<b>Promedio (cm)</b>	<b>Área (cm2)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Resistencia kg/cm2</b>	<b>Densidad Calculada (kg/m3)</b>
1	1900			7									
2	1900			7									
3	1900			7									
4	1900			7									
5	1900			14									
6	1900			14									
7	1900			14									
8	1900			14									
9	1900			28									
10	1900			28									
11	1900			28									
12	1900			28									
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
45	900			28									
46	900			28									
47	900			28									
48	900			28									

**9.5 Anexo 04: Formato para alabeo y dimensionamiento de la producción de los bloques de concreto celular:**

Bloque	Ancho (A) cm	Altura (H) cm	Longitud (L) cm	Pared Interna 1 cm	Pared Interna 2 cm	Peso (kg)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

**9.6 Anexo 05: Formato para la rotura de pilas de bloques de concreto celular:**

Pilas								
N°	Fecha De Elaboración	Fecha De Rotura	Edad (Días)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Peso (kg)	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1			28					
2			28					
3			28					

**9.7 Anexo 06: Formato para la rotura de bloques de concreto celular:**

<b>Bloques</b>										
<b>N°</b>	<b>Densidad Proyectada (kg/m3)</b>	<b>Fecha De Elaboración</b>	<b>Fecha De Rotura</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Área Bruta (cm2)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Resistencia (kg/cm2)</b>	<b>Densidad Calculada (kg/m3)</b>
<b>1</b>	<b>900</b>			<b>7</b>						
<b>2</b>	<b>900</b>			<b>7</b>						
<b>3</b>	<b>900</b>			<b>7</b>						
<b>4</b>	<b>900</b>			<b>14</b>						
<b>5</b>	<b>900</b>			<b>14</b>						
<b>6</b>	<b>900</b>			<b>14</b>						
<b>7</b>	<b>900</b>			<b>28</b>						
<b>8</b>	<b>900</b>			<b>28</b>						
<b>9</b>	<b>900</b>			<b>28</b>						

**9.8 Anexo 07: Formato para medir la permeabilidad del concreto celular mediante carga variable:**

<b>N° prueba</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>H1 (cm)</b>	<b>H2 (cm)</b>	<b>L probeta (cm)</b>	<b>Área probeta (cm2)</b>	<b>Área tubería (cm2)</b>	<b>K (cm/s)</b>
<b>1</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	
<b>2</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	
<b>3</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	
<b>4</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	
<b>5</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	
<b>6</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	
<b>7</b>		<b>50</b>		<b>20</b>	<b>78.5</b>	<b>0.19625</b>	

**9.9 Anexo 08: Formato para medir la permeabilidad del concreto celular mediante carga constante:**

N° prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Q (L/S)	L probeta (cm)	Área probeta (cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
1				20	78.5	
2				20	78.5	
3				20	78.5	
4				20	78.5	
5				20	78.5	
6				20	78.5	
7				20	78.5	

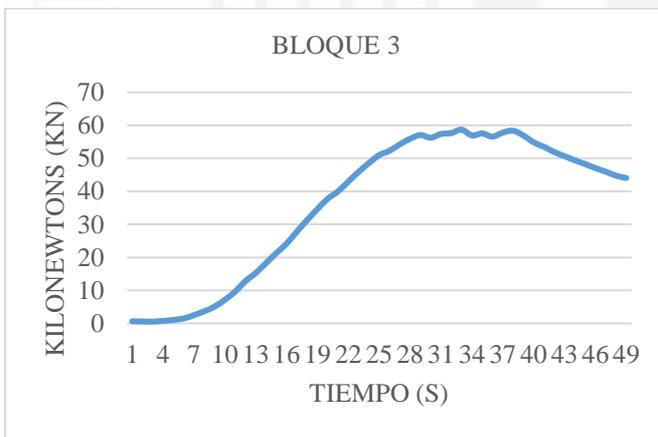
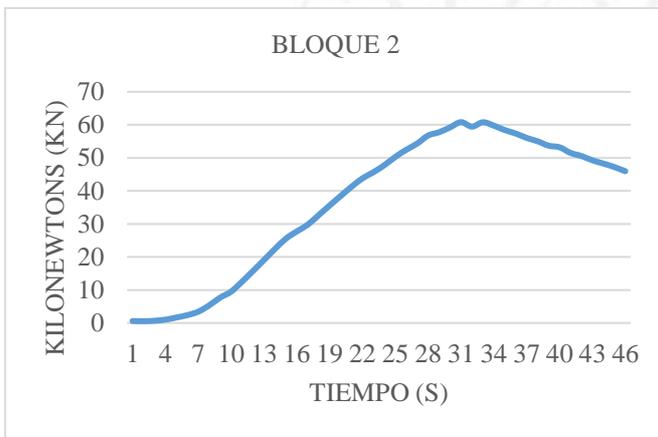
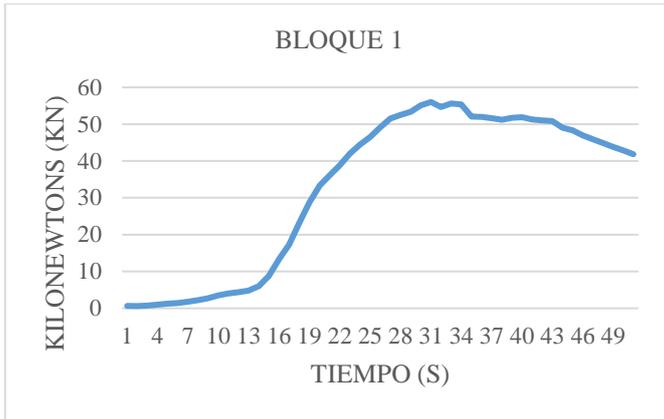
**9.10 Anexo 09: Formato para medir el porcentaje de absorción de los bloques de concreto celular:**

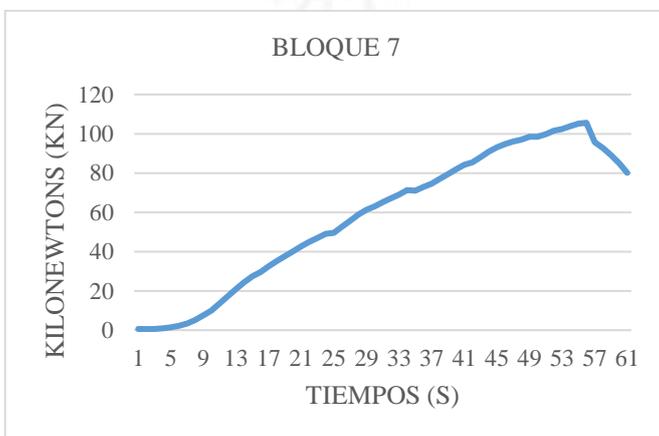
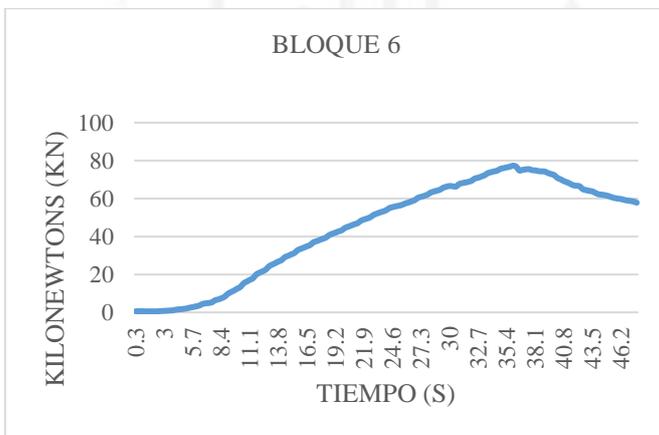
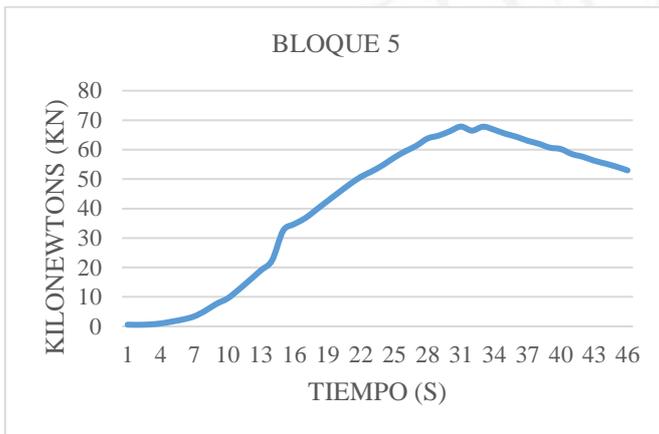
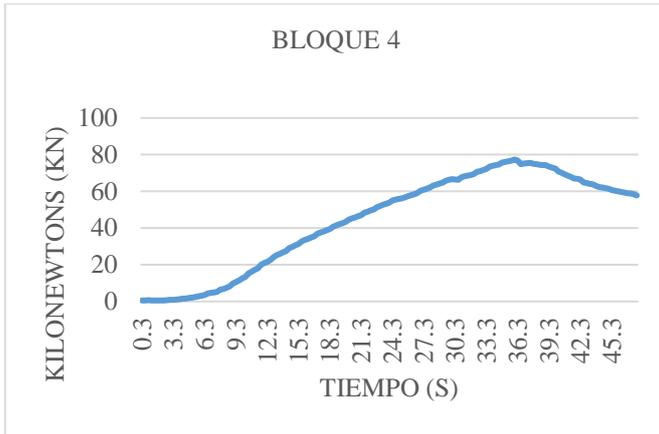
Bloques					
N°	Ws (kg)	Wd (kg)	Wi (kg)	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)
1					
2					
3					

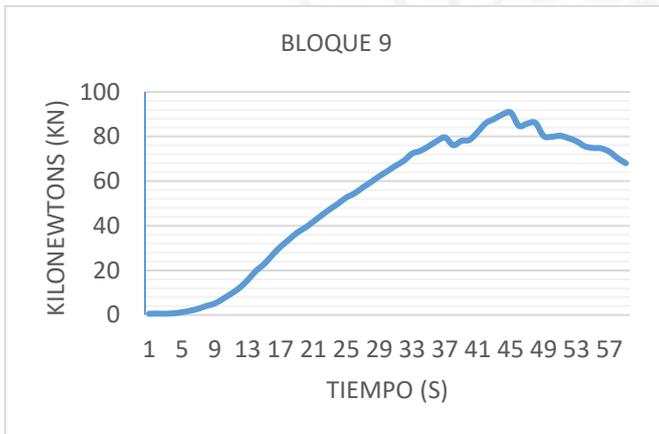
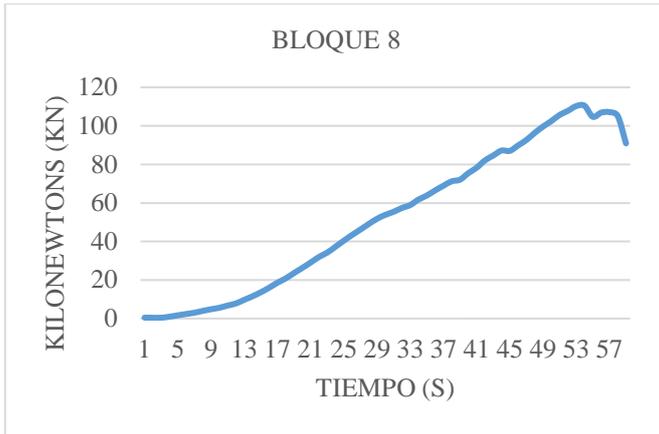
**9.11 Anexo 10: Formato para medir los decibeles en ambas caras del bloque de concreto celular – emisor y receptor:**

**9.12 Anexo 11: Curvas Carga vs Tiempo de cada bloque:**

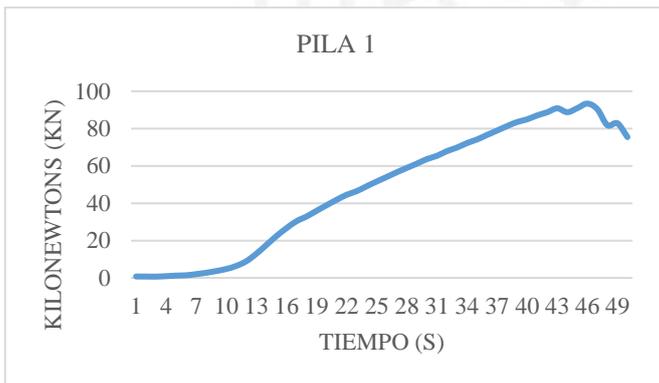
Emisor	Frecuencia (Hz)	Decibeles (Db)	Receptor	Frecuencia (Hz)	Decibeles (Db)
	20			20	
	25			25	
	30			30	
	35			35	
	40			40	
	50			50	
	65			65	

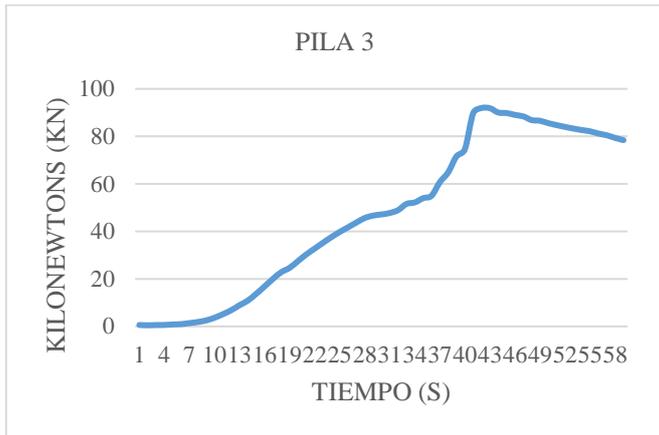
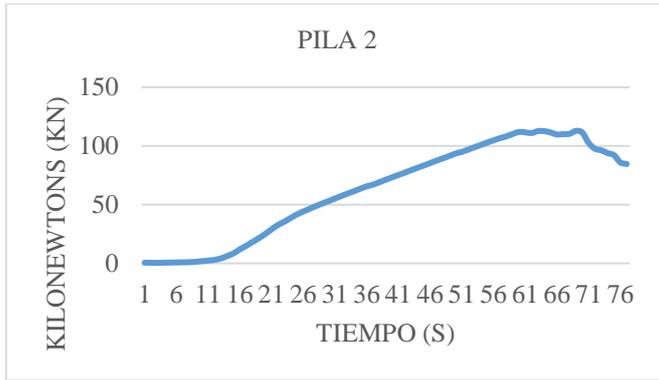






**9.13 Anexo 12: Curvas Carga vs Tiempo de cada pila:**





### 9.14 Anexo 13: Fichas técnicas de otros fabricantes de bloques de concreto convencional

	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>							
Página 1 de 1	<b>PRODUCTO: BLOQUES DE CONCRETO - PARED</b>	D-CC-EST-15 Versión 02						
Descripción: Unidad de albañilería a base de cemento, agua, agregados, aditivos, con o sin pigmentos, de forma prismática, con dimensiones interiores modulares no mayores de 60 cm, sin armadura.								
Ensayo	Requisito	Norma de Referencia	Norma de Ensayo					
<b>DIMENSIONES</b>	Uso	Largo entero	Largo mitad	Ancho	Alto	NTP 399.602	NTP 399.604	
	Bloque 19	Estructural	39 cm	19 cm	19 cm			19 cm
	Bloque 14	Estructural	39 cm	19 cm	14 cm			19 cm
	Bloque 12	Estructural	39 cm	19 cm	12 cm			19 cm
	Bloque 9	No Estructural	39 cm	19 cm	9 cm	19 cm	NTP 399.600	
<b>VARIACIÓN DIMENSIONAL</b>	Espesor min. de pared y tabique		Largo, Ancho y Altura				NTP 399.602	NTP 399.604
	Bloque 19, 14 y 12	2.5 cm	± 0.3 cm					
	Bloque 9	1.3 cm						
<b>ABSORCIÓN, Máx.</b>	Bloque 19, 14 y 12		Promedio de 3 Unidades				NTP 399.602	NTP 399.604
			≤ 12% del peso seco					
	Bloque 9		No aplica				NTP 399.600	
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, Min. Respecto al área bruta</b>	Bloque 19, 14 y 12		Promedio de 3 Unidades		Unidad Individual		NTP 399.602	NTP 399.604
			7 MPa (71.4 kg/cm <sup>2</sup> )		6 MPa (61.2 kg/cm <sup>2</sup> )			
	Bloque 9		4 MPa (40.8 kg/cm <sup>2</sup> )		3 MPa (30.6 kg/cm <sup>2</sup> )			
<b>COLOR, TEXTURA Y APARIENCIA:</b>			Conforme a muestra aprobada				NTP 399.602	Procedimiento interno: SGC-PRO-06-D1008

Los bloques de concreto 12, son pequeñas piezas prefabricadas individuales con las que se construyen muy flexiblemente paredes estructurales y no estructurales, muros, vigas y columnas.

Ahorro de tiempo: Por el mayor tamaño de los bloques de concreto versus el ladrillo convencional se reducen los tiempos de colocación.

Ahorro en mortero: Se tiene menor cantidad de juntas por m<sup>2</sup> construido.

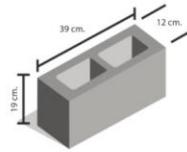
Mejor acabado: Caravista o con mínima capa de tarrajeo (solapeo).

Mayor durabilidad: Utilizan cemento fortimax3 de cementos Pacasmayo con la dosificación idónea controlado por los estrictos procesos de calidad.

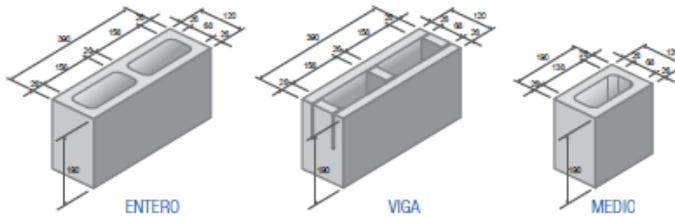
**DIMENSIONES**

Largo: 39 cm  
 Alto: 19 cm  
 Ancho: 12 cm  
 Unidades por m<sup>2</sup>: 12,5  
 Peso aprox: 11,5 kg  
 Resistencia: 70 kg/cm<sup>2</sup>

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS KINGBLOCK 12 x 19 x 39 cm**



TIPO DE UNIDAD	Bloque de concreto / unidad hueca o perforada			
DIMENSIONES		ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)
	ENTERO / VIGA	120	190	390
	MEDIO / MITAD	120	190	190
VACÍOS	41,5%			
PESO POR UNIDAD	11,8 Kg			
PESO DEL MURO	158 Kg/m <sup>2</sup> (sin concreto líquido)			
VARIACIÓN DIMENSIONAL	Ancho, alto, largo < ± 1,5 mm			
ABSORCIÓN	< 7% del peso seco			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	≥ 9,0 MPa (respecto al área bruta o total)			
DENSIDAD	> 2100 kg/m <sup>3</sup>			
RENDIMIENTO	12,5 Und/m <sup>2</sup>			
COLORES	Gris natural (color concreto). Otros bajo pedido dependiendo de la cantidad			
ACABADOS	Liso normal			
RESISTENCIA AL FUEGO DEL MURO	Parcialmente Relleno Rf > 120' (*) (Informe Idiem 1.351.798/2018) (*) Con Tarrajeo 10 mm Totalmente Relleno Rf = 120' (Informe Idiem 1.348.385/2017)			
AISLAMIENTO ACÚSTICO DEL MURO	Parcialmente Relleno R'w = 47 dBA (Informe Idiem 1.353.801/2018) Totalmente Relleno R'w = 51 dBA (Informe Idiem 1.353.802/2018)			
NORMAS	Todas las características del KINGBLOCK están de acuerdo a la N.T.P. 399.602 "Bloques de concreto para uso estructural, Requisitos" y la E-070 de albañilería del RNC			



692- 7436 / 976-228-011  
 ventas@bloques.com.pe  
 www.bloques.com.pe

# BLOQUE PARED 12

## Especificaciones

Ensayo	Requisito	Norma de Referencia	Norma de Ensayo
Dimensiones	Uso	NTP 399.602	NTP 399.604
	Largo entero		
Variación dimensional	Largo mitad	NTP 399.602	NTP 399.604
	Ancho		
Absorción, Máx	Alto	NTP 399.602	NTP 399.604
	Esesor min. de pared tabique		
Resistencia a la compresión min. respecto al área bruta	Largo, ancho y altura	NTP 399.602	NTP 399.604
	Promedio de 3 unidades		
Profundidad de ranura vertical (BV) para abatir segmento de pared	Unidad Individual	-	Solicitud del cliente
	Promedio de 3 unidades		
Color, textura y apariencia	Conforme a muestra aprobada	NTP 399-602	Procedimiento interno: SGC-PRO-06-D1008

## Beneficios

- Mayor rendimiento porque se utilizan menos unidades por metro de muro construido.
- Ahorro de tiempo porque el mayor tamaño de los bloques de concreto versus el ladrillo convencional reducen los tiempo de colocación
- Ahorro en mortero porque se tiene menor cantidad de juntas por m<sup>2</sup> construido.
- Mejor acabado: caravista o con mínima capa de tarrajeo (solaqueo).
- Mayor durabilidad.

# CONCRETO CELULAR

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

2

[repositorio.unfv.edu.pe](https://repositorio.unfv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

3

[cybertesis.uni.edu.pe](https://cybertesis.uni.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

4

[repositorio.undac.edu.pe](https://repositorio.undac.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

5

[repositorio.upse.edu.ec](https://repositorio.upse.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

6

[repositorio.urp.edu.pe](https://repositorio.urp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[eprints.uanl.mx](https://eprints.uanl.mx)

Fuente de Internet

<1%

8

[kupdf.net](https://kupdf.net)

Fuente de Internet

<1%

9

[www.slideshare.net](https://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1%

10	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
11	doczz.com.br Fuente de Internet	<1 %
12	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
13	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
14	"Nivel de importancia de factores inhibidores de implementación y áreas de control de proyectos en la Empresa Constructora Fluor", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2020 Publicación	<1 %
15	repository.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	repository.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repository.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

[alicia.concytec.gob.pe](http://alicia.concytec.gob.pe)

20

Fuente de Internet

&lt;1 %

21

Submitted to uncedu

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

22

Submitted to Universidad Privada del Norte

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

23

Submitted to Universidad de Piura

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

24

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

25

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

&lt;1 %

26

Submitted to Universidad Internacional de la Rioja

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

27

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

&lt;1 %

28

repositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

&lt;1 %

29

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

&lt;1 %

30

repositorioinstitucional.ufpso.edu.co

Fuente de Internet

&lt;1 %

31

vbook.pub

Fuente de Internet

<1 %

32

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego

Trabajo del estudiante

<1 %

33

Submitted to Universidad de Lima

Trabajo del estudiante

<1 %

34

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Apagado