

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU  
APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA NO  
ESTRUCTURAL”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:  
BACHILLER: ZAMORA TERRONES, LENIN PEDRO**

**ASESOR:  
M. en I. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA - PERÚ  
2015**

## AGRADECIMIENTO:

En principio a Dios por iluminar mis pasos y brindarme su protección, ya que sin su guía y protección no estuviese en este momento, uno de los más importantes de mi vida.

A mis padres **Susana Terrones** y **Pedro Zamora** quienes han sido mi motor e inspiración a lo largo de estos años, gracias a ellos por su esfuerzo y apoyo incondicional que hicieron posible la culminación de mis estudios y metas trazadas hasta este momento. A mis abuelos **Tomasita Bautista** y **Andrés Terrones**, personas fundamentales en mi vida quienes me apoyaron en todo momento. A mis hermanas **Leydy**, **Lucila** y **Naicoll**, quienes siempre han estado pendientes de mí en todos estos años, a mi novia **Dánica Saldaña** por estar junto a mí en los buenos y malos momentos, por su compañía y paciencia en especial durante la etapa final de esta *investigación*.

Un agradecimiento de manera especial al **Mcs. Ing. Héctor Pérez Loayza** por su ayuda desinteresada y guía proporcionada para el desarrollo de la presente investigación, al **Ing. José Lezama Leyva** por el apoyo brindado en el periodo de correcciones.

A todo el personal del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes siempre estuvieron abiertos a brindar las instalaciones del laboratorio y aportar con su experiencia en la realización de la presente investigación.

También agradezco a mis grandes amigos **Elmer Idrogo**, **Elmer Collantes**, **Roberto Aquino** y **Leiner Guerrero** por sus consejos y apoyo durante el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas quienes directa o indirectamente ayudaron a la culminación de la presente investigación

Gracias totales...

## **DEDICATORIA:**

A mis Padres: **Pedro Zamora** y **Susana Terrones** por su gran amor y apoyo incondicional que hicieron posible culminar una meta más en mi vida, a mis abuelos **Tomasa Bautista** y **Andrés Terrones** por su preocupación y apoyo constante hacia mi persona, a mis hermanas **Leydy**, **Lucila** y **Naicoll** por amor, consejos y apoyo en todo momento, a mi novia **Dánica Saldaña** por su amor, paciencia y compañía especialmente durante el desarrollo de esta tesis.

## INDICE DE CONTENIDOS:

<b>AGRADECIMIENTO:</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA:</b> .....	<b>ii</b>
<b>INDICE DE CONTENIDOS:</b> .....	<b>iii</b>
<b>INDICE DE TABLAS:</b> .....	<b>v</b>
<b>INDICE DE IMÁGENES:</b> .....	<b>viii</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS:</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN:</b> .....	<b>xí</b>
<b>ABSTRACT:</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b> .....	<b>2</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. HIPÓTESIS.....	3
1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.7. DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.7.1. DELIMITACIÓN.....	5
1.7.2. LIMITACIONES.....	6
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	8
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	8
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	9
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. CONCRETO.....	9
2.2.2. CONCRETO LIGERO.....	12
2.2.3. CONCRETO CELULAR.....	21
2.2.4. ADITIVO ESPUMANTE ADIKRETE.....	34
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.2. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.3. POBLACIÓN.....	38
3.1.4. MUESTRA.....	38
3.1.5. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	38
3.1.6. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	38
3.1.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	39
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	39
3.2.1. AGREGADO FINO.....	39
3.2.2. CEMENTO.....	59
3.2.3. AGUA.....	60
3.2.4. ESPUMA PREFORMADA.....	61
3.2.5. ADITIVOS.....	65
3.2.6. FIBRAS.....	67
3.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CELULAR.....	70
3.3.1. DATOS PRELIMINARES.....	70
3.3.2. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA.....	71

3.3.3. PROCESO DE ELABORACIÓN.....	75
3.3.4. RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN.....	78
3.3.5. ESPECIFICACIONES DE ESPECIMENES DE ENSAYO.....	90
3.3.6. CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO CELULAR.....	90
3.4. ENSAYOS DEL CONCRETO CELULAR.....	91
3.4.1. CONSISTENCIA O FLUIDEZ DE LA MEZCLA.....	91
3.4.2. CONTENIDO DE AIRE.....	94
3.4.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	97
3.4.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	99
3.4.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	100
3.5. DISEÑO Y ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR.....	102
3.5.1. DOSIFICACIÓN ÓPTIMA.....	103
3.5.2. DIMENSIONES DEL BLOQUE.....	103
3.5.3. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN.....	105
3.5.4. CURADO.....	106
3.5.5. ALMACENAMIENTO.....	106
3.6. ENSAYOS EN BLOQUES DE CONCRETO CELULAR.....	106
3.6.1. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	106
3.6.2. COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES.....	108
3.6.3. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN.....	110
3.7. ENSAYOS EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA.....	112
3.7.1. COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS.....	112
3.7.2. COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES.....	115
3.8. MORTERO.....	118
3.8.1. DISEÑO DEL MORTERO.....	118
3.8.2. COMPRESIÓN EN ESPECIMENES CUBICOS DE MORTERO.....	118
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>120</b>
4.1. ELECCION DEL TIPO DE ARENA.....	120
4.2. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA.....	121
4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DE MEZCLA.....	122
4.3.1. PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO Y CONTENIDO DE AIRE.....	122
4.3.2. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO.....	123
4.4. ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADO EN ESPECIMENES CUBICOS.....	125
4.4.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN.....	125
4.4.2. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	128
4.4.3. ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	130
4.5. ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADOS EN BLOQUES DE CONCRETO CELULAR.....	133
4.5.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	133
4.5.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXION.....	134
4.5.3. ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	136
4.6. ANÁLISIS DE ENSAYOS EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA.....	136
4.6.1. COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS.....	136
4.6.2. COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES.....	138
4.7. ANÁLISIS DEL MORTERO.....	141
4.8. ANÁLISIS TECNICO Y ECONOMICO.....	142
4.9. CONTRASTE DE LA HIPOTESIS.....	144
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>147</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	147
5.2. RECOMENDACIONES.....	149
<b>CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>151</b>
6.1. TESIS.....	151
6.2. LIBROS Y PUBLICACIONES.....	151

6.3. NORMAS NTP .....	152
6.4. NORMAS Y REGLAMENTOS INTERNACIONALES .....	153
<b>CAPITULO VII: ANEXOS .....</b>	<b>156</b>
7.1. ANEXO I: PROPIEDAD FISICAS Y MECANICAS DE LA ARENA.....	156
7.2. ANEXO II: DENSIDAD DE LA ESPUMA PREFORMADA.....	166
7.3. ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO CELULAR.....	167
7.4. ANEXO IV: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO - MECANICOS EN CUBOS DE CONCRETO CELULAR.....	179
7.5. ANEXO V: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO-MECANICOS EN BLOQUES DE CONCRETO CELULAR.....	192
7.6. ANEXO VI: RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR .....	197
7.7. ANEXO VII: DISEÑO DEL MORTERO Y RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN CUBOS DE MÓRTERO .....	199
7.8. ANEXO VIII: ANALISIS DE CÓSTOS UNITARIOS-ALBAÑILERIA DE LADRILLOS DE ARCILLA Y BLOQUES DE COCRETO CONVENCIONAL Y CELULAR.....	202
7.9. ANEXO IX: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA ESPECIMENES CUBICOS.....	205
7.10. ANEXO X: CURVA REPRESENTATIVA DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA – BLQQUES DE CONCRETO CELULAR .....	209
7.11. ANEXO XI: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA – PRISMAS DE ALBAÑILERIA.....	210
7.12. ANEXO XII: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO .....	214
7.13. ANEXO XIII: FICHA TÉCNICA SIKAMENT 290N .....	215
7.14. ANEXO XIV: FICHA TÉCNICA SIKAFIBER.....	218
7.15. ANEXO XV: FICHA TÉCNICA ADIKRETE.....	221
7.16. ANEXO XVI: PANEL FOTOGRAFICO.....	223

## INDICE DE TABLAS:

<i>Tabla N° 1: Composición y propiedades del Concreto Celular (McCormick 1967).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla N° 2: Resistencia a la compresión y módulo de Elasticidad del Concreto Celular (Tabla Cortesía de Elastizell) .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N° 3: Conductividad térmica del Concreto Celular secado al horno.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla N° 4: Ubicación geográfica de la investigación .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla N° 5: Ubicación geográfica de la Cantera "Victoria".....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla N° 6: Medidas de las muestras de campo requeridas para los ensayos .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla N° 7: Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla N° 8: Resultados de ensayo de partículas menores al tamiz N° 200.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla N° 9: Requisitos granulométricos del agregado fino.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla N° 10: Resultados módulo de finura de la arena utilizada.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla N° 11: Resultados de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla N° 12: Capacidad del depósito (molde), ensayo de densidad de masa.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla N° 13: Resultados de ensayo de masa por unidad de volumen del agregado fino.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla N° 14: Límites permisibles para el agua de mezcla.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla N° 15: Propiedades del agregado fino utilizado .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla N° 16: Dosificación del Concreto Celular EAF-1.0.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla N° 17: Dosificación del Concreto Celular EA-1.0.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla N° 18: Dosificación del Concreto Celular EF-1.0.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla N° 19: Dosificación del Concreto Celular E-1.0.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla N° 20: Dosificación del Concreto Celular EAF-1.2.....</i>	<i>82</i>

<b>Tabla Nº 21:</b> Dosificación del Concreto Celular EA-1.2.....	83
<b>Tabla Nº 22:</b> Dosificación del Concreto Celular EF-1.2.....	84
<b>Tabla Nº 23:</b> Dosificación del Concreto Celular E-1.2.....	85
<b>Tabla Nº 24:</b> Dosificación del Concreto Celular EAF-1.4.....	86
<b>Tabla Nº 25:</b> Dosificación del Concreto Celular EA-1.4.....	87
<b>Tabla Nº 26:</b> Dosificación del Concreto Celular EF-1.4.....	88
<b>Tabla Nº 27:</b> Dosificación del Concreto Celular E-1.4.....	89
<b>Tabla Nº 28:</b> Dosificación óptima para el diseño de bloques de Concreto Celular (EAF-1.4).....	103
<b>Tabla Nº 29:</b> Dimensiones de los bloques de concreto para uso no estructural.....	104
<b>Tabla Nº 30:</b> Dimensiones de los bloques de concreto para uso estructural.....	104
<b>Tabla Nº 31:</b> Requisitos de resistencia de bloques no estructurales.....	109
<b>Tabla Nº 32:</b> Requisitos de resistencia de bloques estructurales.....	109
<b>Tabla Nº 33:</b> Factor de corrección de altura a espesores para resistencia a compresión de prismas de mampostería.....	113
<b>Tabla Nº 34:</b> Determinación del coeficiente de uniformidad.....	121
<b>Tabla Nº 35:</b> Resultados de diámetros de dispersión de la mezcla según la densidad del Concreto Celular.....	121
<b>Tabla Nº 36:</b> Resultados de peso unitario en estado fresco y contenido de aire de las mezclas de Concreto Celular.....	123
<b>Tabla Nº 37:</b> Resultados de peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	124
<b>Tabla Nº 38:</b> Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones.....	125
<b>Tabla Nº 39:</b> Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ACI 318.....	128
<b>Tabla Nº 40:</b> Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ASTM C 469.....	129
<b>Tabla Nº 41:</b> Promedio de resultados del ensayo de densidad y absorción de especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	131
<b>Tabla Nº 42:</b> Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Celular (BCC).....	133
<b>Tabla Nº 43:</b> Promedio de resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular (BCC).....	134
<b>Tabla Nº 44:</b> Resultados del ensayo de peso específico y absorción en bloques de Concreto Celular.....	136
<b>Tabla Nº 45:</b> Resultados de resistencia a la compresión en pilas.....	137
<b>Tabla Nº 46:</b> Resultados de Modulo de Elasticidad de Pilas.....	137
<b>Tabla Nº 47:</b> Resultados de ensayos de compresión diagonal en muretes.....	139
<b>Tabla Nº 48:</b> Resultados del Módulo de Corte en muretes.....	139
<b>Tabla Nº 49:</b> Resistencia a la compresión de especímenes cúbicos de mortero.....	141
<b>Tabla Nº 50:</b> Costos de fabricación del bloque de Concreto Celular.....	142
<b>Tabla Nº 51:</b> Rendimiento de la mano de obra y materiales para albañilería.....	143
<b>Tabla Nº 52:</b> Peso por m2 de muros de ladrillos de arcilla, bloques de concreto convencional y celular.....	143
<b>Tabla Nº 53:</b> Cantidades de mortero por m2 de muro de bloques de Concreto Celular de 09x19x39.....	144
<b>Tabla Nº 54:</b> Costos de construcción por m2 de muro de ladrillo KK, bloques de concreto convencional y celular.....	144
<b>Tabla Nº 55:</b> Ensayos de partículas menores al tamiz Nº 200 - agregado fino.....	156
<b>Tabla Nº 56:</b> Ensayo Nº 01, 02 y 03 de granulometría de la arena A (para densidad de 1000 kg/m3).....	156
<b>Tabla Nº 57:</b> Ensayo Nº 01, 02 y 03 de granulometría de la arena B (para densidad de 1200 kg/m3).....	158

<b>Tabla N° 58:</b> Ensayo N° 01, 02 y 03 de granulometría de la arena B (para densidad de 1400 kg/m <sup>3</sup> ).....	159
<b>Tabla N° 59:</b> Densidad relativa de la arena A.....	161
<b>Tabla N° 60:</b> Densidad relativa de la arena B.....	162
<b>Tabla N° 61:</b> Densidad relativa de la arena C.....	162
<b>Tabla N° 62:</b> Peso específico del agua par ensayo de peso unitario del agregado fino .....	163
<b>Tabla N° 63:</b> Factor agua para ensayo de peso unitario del agregado fino .....	163
<b>Tabla N° 64:</b> Masa por unidad de volumen de la arena A, en estado seco suelto.....	163
<b>Tabla N° 65:</b> Masa por unidad de volumen de la arena A, en estado seco compactado.....	163
<b>Tabla N° 66:</b> Masa por unidad de volumen de la arena B, en estado seco suelto .....	164
<b>Tabla N° 67:</b> Masa por unidad de volumen de la arena B, en estado seco compactado.....	164
<b>Tabla N° 68:</b> Masa por unidad de volumen de la arena C, en estado seco suelto .....	164
<b>Tabla N° 69:</b> Masa por unidad de volumen de la arena C, en estado seco compactado.....	164
<b>Tabla N° 70:</b> Porcentaje de vacíos de la arena A.....	165
<b>Tabla N° 71:</b> Porcentaje de vacíos de la arena B.....	165
<b>Tabla N° 72:</b> Porcentaje de vacíos de la arena C.....	165
<b>Tabla N° 73:</b> Factor agua para ensayo de densidad de la espuma preformada.....	166
<b>Tabla N° 74:</b> Resultados de ensayo para determinar la densidad de la espuma preformada.....	166
<b>Tabla N° 75:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EAF- 1000 kg/m <sup>3</sup> ).....	167
<b>Tabla N° 76:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EA- 1000 kg/m <sup>3</sup> ) .....	168
<b>Tabla N° 77:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EF- 1000 kg/m <sup>3</sup> ) .....	169
<b>Tabla N° 78:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. E- 1000 kg/m <sup>3</sup> ).....	170
<b>Tabla N° 79:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EAF- 1200 kg/m <sup>3</sup> ).....	171
<b>Tabla N° 80:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EA- 1200 kg/m <sup>3</sup> ).....	172
<b>Tabla N° 81:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EF- 1200 kg/m <sup>3</sup> ) .....	173
<b>Tabla N° 82:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. E- 1200 kg/m <sup>3</sup> ).....	174
<b>Tabla N° 83:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EAF- 1400 kg/m <sup>3</sup> ).....	175
<b>Tabla N° 84:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EA- 1400 kg/m <sup>3</sup> ) .....	176
<b>Tabla N° 85:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EF- 1400 kg/m <sup>3</sup> ) .....	177
<b>Tabla N° 86:</b> Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. E- 1400 kg/m <sup>3</sup> ).....	178
<b>Tabla N° 87:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EAF-1.0 .....	179
<b>Tabla N° 88:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EA-1.0.....	180
<b>Tabla N° 89:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EF-1.0.....	181
<b>Tabla N° 90:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m <sup>3</sup> , dosificación E-1.0.....	182
<b>Tabla N° 91:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EAF-1.2 .....	183
<b>Tabla N° 92:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EA-1.2.....	184
<b>Tabla N° 93:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EF-1.2.....	185
<b>Tabla N° 94:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m <sup>3</sup> , dosificación E-1.2.....	186
<b>Tabla N° 95:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EAF-1.4 .....	187
<b>Tabla N° 96:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EA-1.4.....	188
<b>Tabla N° 97:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m <sup>3</sup> , dosificación EF-1.4.....	189

<b>Tabla N° 98:</b> Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m <sup>3</sup> , dosificación E-1.4 .....	190
<b>Tabla N° 99:</b> Resultados de ensayos de absorción y peso específico en especímenes cúbicos de Concreto Celular .....	191
<b>Tabla N° 100:</b> Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Celular a los 7 días .....	192
<b>Tabla N° 101:</b> Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Celular a los 14 días .....	193
<b>Tabla N° 102:</b> Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Celular a los 28 días .....	194
<b>Tabla N° 103:</b> Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular a los 07 días .....	195
<b>Tabla N° 104:</b> Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular a los 14 días .....	195
<b>Tabla N° 105:</b> Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular a los 28 días .....	196
<b>Tabla N° 106:</b> Resultados de ensayos de absorción y peso específico en bloques de Concreto Celular .....	196
<b>Tabla N° 107:</b> Resultados de compresión diagonal en muretes de bloques de Concreto Celular .....	197
<b>Tabla N° 108:</b> Modulo de Corte (Gm) en muretes de boques de Concreto Celular .....	197
<b>Tabla N° 109:</b> Resultados de compresión axial en pilas de bloques de Concreto Celular .....	198
<b>Tabla N° 110:</b> Modulo de elasticidad (Em) en pilas de bloques de Concreto Celular .....	198
<b>Tabla N° 111:</b> Resultados de ensayo de resistencia a la compresión del mortero .....	201
<b>Tabla N° 112:</b> Esfuerzo y deformación unitaria del espécimen AEF-07 (Da= 1000 kg/m <sup>3</sup> ) .....	205
<b>Tabla N° 113:</b> Esfuerzo y deformación unitaria del espécimen AEF-09 (Da= 1200 kg/m <sup>3</sup> ) .....	206
<b>Tabla N° 114:</b> Esfuerzo y deformación unitaria del espécimen AEF-08 (Da= 1400 kg/m <sup>3</sup> ) .....	208
<b>Tabla N° 115:</b> Esfuerzo y deformación unitaria del bloque BCC-11 (Da= 1400 kg/m <sup>3</sup> ) .....	209
<b>Tabla N° 116:</b> Esfuerzo y deformación unitaria Pila PCC-06 .....	210
<b>Tabla N° 117:</b> Esfuerzo y deformación unitaria vertical murete MCC-02 .....	212
<b>Tabla N° 118:</b> Esfuerzo y deformación unitaria horizontal murete MCC-02 .....	213

## **INDICE DE IMÁGENES:**

<b>Imagen N° 1:</b> Composición del Concreto .....	10
<b>Imagen N° 2:</b> Concreto en estado fresco .....	11
<b>Imagen N° 3:</b> Sección del concreto endurecido .....	11
<b>Imagen N° 4:</b> Muestras de concreto ligero y concreto común con mismo peso .....	13
<b>Imagen N° 5:</b> Piedra Pómez .....	16
<b>Imagen N° 6:</b> Concreto sin finos .....	17
<b>Imagen N° 7:</b> Bloques curados en autoclave (AAC) para muros .....	20
<b>Imagen N° 8:</b> Espuma Preformada .....	21
<b>Imagen N° 9:</b> Concreto Celular con Espuma Preformada .....	23
<b>Imagen N° 10:</b> Trabajabilidad del Concreto Celular .....	26
<b>Imagen N° 11:</b> Placa de Concreto Celular .....	27
<b>Imagen N° 12:</b> Aislamiento acústico del Concreto Celular .....	27
<b>Imagen N° 13:</b> Resistencia al fuego del Concreto Celular .....	28
<b>Imagen N° 14:</b> Ejemplo de secuencia de mezcla .....	30
<b>Imagen N° 15:</b> Fotografía Satelital de la ubicación geográfica de la investigación .....	37
<b>Imagen N° 16:</b> Fotografía Satelital de la ubicación geográfica de la Cantera La Victoria .....	40
<b>Imagen N° 17:</b> Selección de agregado fino para ensayos .....	43
<b>Imagen N° 18:</b> Cuarteo de la muestra de agregado fino .....	43
<b>Imagen N° 19:</b> Ensayo de materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200, agregado fino. ...	46
<b>Imagen N° 20:</b> Equipo de ensayo para granulometría del agregado fino .....	49

<b>Imagen N° 21:</b> Ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino.....	54
<b>Imagen N° 22:</b> Ensayo de densidad de masa de la agregado fino.....	59
<b>Imagen N° 23:</b> Cemento Pacasmayo TIPO I.....	59
<b>Imagen N° 24:</b> Generadores de espuma.....	61
<b>Imagen N° 25:</b> Dispositivo para generar espuma.....	62
<b>Imagen N° 26:</b> Ensayo de densidad de espuma.....	65
<b>Imagen N° 27:</b> Aditivo Sikament®-290N, empleado en la elaboración del Concreto Celular.....	67
<b>Imagen N° 28:</b> Fibra de polipropileno empleada en la elaboración del Concreto Celular.....	69
<b>Imagen N° 29:</b> Proceso de elaboración del Concreto Celular.....	77
<b>Imagen N° 30:</b> Especímenes de Concreto Celular de 100mm x 100mm x 100mm.....	90
<b>Imagen N° 31:</b> Especímenes guardados en una bolsa de plástico sellada para evitar la pérdida de humedad, para simular el medio ambiente de humedad 100 %.....	91
<b>Imagen N° 32:</b> Ensayo de fluidez.....	94
<b>Imagen N° 33:</b> Ensayo de densidad de masa del Concreto Celular.....	96
<b>Imagen N° 34:</b> Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de Concreto Celular.....	99
<b>Imagen N° 35:</b> Medición de deformaciones en especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	100
<b>Imagen N° 36:</b> Densidad y absorción de los especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	102
<b>Imagen N° 37:</b> Moldes metálicos de 09x19x39 cm para elaborar los bloques de Concreto Celular.....	104
<b>Imagen N° 38:</b> Proceso de elaboración de los bloques de Concreto Celular.....	105
<b>Imagen N° 39:</b> Almacenamiento de bloques de Concreto Celular.....	106
<b>Imagen N° 40:</b> Ensayo de densidad y absorción de bloques de Concreto Celular.....	108
<b>Imagen N° 41:</b> Ensayo de resistencia a la compresión-bloques de Concreto Celular.....	110
<b>Imagen N° 42:</b> Ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloque de Concreto Celular.....	112
<b>Imagen N° 43:</b> Ensayo de resistencia a compresión axial en pilas.....	115
<b>Imagen N° 44:</b> Ensayo de compresión diagonal de muretes.....	117
<b>Imagen N° 45:</b> Ensayo de consistencia del Concreto Celular.....	122
<b>Imagen N° 46:</b> Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos con diferentes dosificaciones.....	128
<b>Imagen N° 47:</b> Ensayo de resistencia a la compresión simple en bloques de Concreto Celular a la edad de 28 días.....	134
<b>Imagen N° 48:</b> Ensayo de resistencia a la tracción por flexión- bloque BCC-06 a la edad de 28 días.....	135
<b>Imagen N° 49:</b> Tipos de fallas en pilas de bloques de Concreto Celular.....	138
<b>Imagen N° 50:</b> Tipos de fallas en muretes de bloques de Concreto Celular.....	140
<b>Imagen N° 51:</b> Selección del agregado fino para ensayos.....	223
<b>Imagen N° 52:</b> Ensayo de granulometría del agregado fino.....	223
<b>Imagen N° 53:</b> Ensayo de densidad relativa del agregado fino.....	223
<b>Imagen N° 54:</b> Ensayo de peso unitario del agregado fino.....	224
<b>Imagen N° 55:</b> Ensayo de densidad de la espuma preformada.....	224
<b>Imagen N° 56:</b> Adición de la espuma preformada a la mezcladora.....	224
<b>Imagen N° 57:</b> Mezclado de los componentes del Concreto Celular.....	225
<b>Imagen N° 58:</b> Ensayo de fluidez del Concreto Celular.....	225
<b>Imagen N° 59:</b> Vaciado de Concreto Celular en los moldes cúbicos.....	226
<b>Imagen N° 60:</b> Desencofrado de especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	226
<b>Imagen N° 61:</b> Determinación de las dimensiones de los especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	227
<b>Imagen N° 62:</b> Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos de Concreto Celular.....	227
<b>Imagen N° 63:</b> Elaboración de bloques de Concreto Celular.....	228
<b>Imagen N° 64:</b> Desencofrado de bloques de Concreto Celular.....	228
<b>Imagen N° 65:</b> Ensayo de compresión simple en bloques de Concreto Celular.....	229
<b>Imagen N° 66:</b> Ensayo de tracción por flexión en bloques de Concreto Celular.....	229

<i>Imagen N° 67: Elaboración de pilas y muretes de bloques de Concreto Celular</i> .....	230
<i>Imagen N° 68: Pilas y muretes terminados</i> .....	230
<i>Imagen N° 69: Ensayo de compresión axial en pilas</i> .....	231
<i>Imagen N° 70: Ensayo de compresión diagonal en muretes</i> .....	231
<i>Imagen N° 71: Espécimen cubico de Concreto Celular capaz de flotar en el agua</i> .....	232
<i>Imagen N° 72: Estructura porosa interna de los especímenes cúbicos de Concreto Celular</i> .....	232
<i>Imagen N° 73: Ensayo de contenido de aire real del mortero</i> .....	232

## INDICE DE GRÁFICOS:

<i>Grafico N° 1: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EAF-1.0)</i> .....	78
<i>Grafico N° 2: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EA-1.0)</i> .....	79
<i>Grafico N° 3: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EF-1.0)</i> .....	80
<i>Grafico N° 4: Dosificación propuesta Vs dosificación real (E-1.0)</i> .....	81
<i>Grafico N° 5: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EAF-1.2)</i> .....	82
<i>Grafico N° 6: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EA-1.2)</i> .....	83
<i>Grafico N° 7: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EF-1.2)</i> .....	84
<i>Grafico N° 8: Dosificación propuesta Vs dosificación real (E-1.2)</i> .....	85
<i>Grafico N° 9: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EAF-1.4)</i> .....	86
<i>Grafico N° 10: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EA-1.4)</i> .....	87
<i>Grafico N° 11: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EF-1.4)</i> .....	88
<i>Grafico N° 12: Dosificación propuesta Vs dosificación real (E-1.4)</i> .....	89
<i>Grafico N° 13: Peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Celular</i> .124	
<i>Grafico N° 14: Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1000 [Kg/m<sup>3</sup>]</i> .....	126
<i>Grafico N° 15: Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1200 [Kg/m<sup>3</sup>]</i> .....	126
<i>Grafico N° 16: Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1400 [Kg/m<sup>3</sup>]</i> .....	127
<i>Grafico N° 17: Tendencia de la resistencia a la compresión respecto al peso específico</i> .....	127
<i>Grafico N° 18: Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ACI 318</i> .....	129
<i>Grafico N° 19: Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ASTM C 469</i> .....	130
<i>Grafico N° 20: Promedio de resultados del ensayo de absorción de especímenes cúbicos de Concreto Celular</i> .....	131
<i>Grafico N° 21: Promedio de resultados del ensayo de peso específico de especímenes cúbicos de Concreto Celular</i> .....	132
<i>Grafico N° 22: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Celular (BCC)</i> .....	133
<i>Grafico N° 23: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular (BCC)</i> .....	135
<i>Grafico N° 24: Resultados de la curva granulometría de la arena A</i> .....	157
<i>Grafico N° 25: Resultados de la curva granulometría de la arena B</i> .....	159
<i>Grafico N° 26: Resultados de la curva granulometría de la arena C</i> .....	161
<i>Grafico N° 27: Esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen AEF-07 (Da= 1000 kg/m<sup>3</sup>)</i> .....	206
<i>Grafico N° 28: Esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen AEF-09 (Da= 1200 kg/m<sup>3</sup>)</i> .....	207
<i>Grafico N° 29: Esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen AEF-09 (Da= 1400 kg/m<sup>3</sup>)</i> .....	208
<i>Grafico N° 30: Esfuerzo Vs deformación unitaria del bloque BCC-11 (Da= 1400 kg/m<sup>3</sup>)</i> .....	210
<i>Grafico N° 31: Esfuerzo Vs deformación unitaria Pila PCC-06</i> .....	211
<i>Grafico N° 32: Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical murete MCC-02</i> .....	212
<i>Grafico N° 33: Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal murete MCC-02</i> .....	213

## RESUMEN:

El propósito de esta investigación fue diseñar y elaborar un bloque de Concreto Celular que cumpla con los requerimientos físico-mecánicos establecidos en la normativa peruana correspondiente, para su uso como unidad de albañilería no estructural, realizándose para ello pruebas experimentales que permitieron obtener la dosificación óptima de diseño. Se elaboraron 144 especímenes de forma cubica, los que tuvieron como constante la dosificación de aditivo espumante Adikrete, asociados en tres grupos, de acuerdo a su densidad aparente de 1000 [kg/m<sup>3</sup>], 1200 [kg/m<sup>3</sup>] y 1400 [kg/m<sup>3</sup>]; cada grupo de densidad antes mencionado se diseñó con cuatro dosificaciones con la adición de fibra de polipropileno Sikafiber y aditivo plastificante Sikament 290N; denominadas de acuerdo a sus componentes: EAF (espuma-aditivo-fibra), EA (espuma-aditivo), EF (espuma-fibra), E (espuma). El diseño de mezclas de Concreto Celular se realizó de acuerdo a la "Guía para Concreto Celular con densidades superiores a 800 kg/m<sup>3</sup>" - ACI 523.3R-14. Los materiales utilizados fueron: agregado fino de la Cantera la Victoria, con diferentes granulometrías de acuerdo a la densidad deseada, cemento Portland Tipo I Pacasmayo, aditivo espumante Adikrete, fibra de polipropileno Sikafiber y aditivo plastificante Sikament 290N. Los resultados experimentales en especímenes cúbicos mostraron que la dosificación óptima que cumplía con todos los parámetros para la elaboración del bloque de Concreto Celular fue la EAF (espuma-aditivo-fibra) con una densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>, con esta dosificación se elaboraron 60 bloques de Concreto Celular en los cuales se realizaron los ensayos requeridos según la Norma Técnica Peruana. El valor de la resistencia a la compresión fue de 71.55 kg/cm<sup>2</sup> en las unidades; su resistencia a la compresión en pilas de 02 unidades fue de 53.15 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia a compresión diagonal de muretes de 60 cm x 60 cm fue de 5.65 kg/cm<sup>2</sup>; estos resultados confirmaron la hipótesis planteada. Finalmente se realizó un análisis técnico y económico de los bloques de Concreto Celular de manera aproximada.

**Palabras clave:** Concreto Celular, aditivo espumante, fibra, bloques, densidad aparente.

## **ABSTRACT:**

The purpose of this research was to design and develop a concrete block cell that meets the physical-mechanical established in the relevant Peruvian legislation, for use as non-structural masonry unit requirements, performing for experimental evidence that enabled it to obtain the optimal dosage of design. 144 cubic form specimens were prepared, which had to be constant dosage of foaming additive Adikrete associated into three groups according to their bulk density of 1000 [kg / m<sup>3</sup>] 1200 [kg / m<sup>3</sup>] and 1400 [kg / m<sup>3</sup>], each group of density above was designed with four doses with the addition of polypropylene fiber and additive plasticizer Sikafiber Sikament 290N; named according to its components: EAF (foam-fiber-additive), EA (foam-additive), EF (foam-fiber), E (foam). The design of cellular concrete mixtures was performed according to the "Guide to Cellular Concrete with greater than 800 kg / m<sup>3</sup> density" - ACI 523.3R-14. The materials used were: fine aggregate Quarry Victoria, with different particle sizes according to the desired density, Pacasmayo Type I Portland cement, foaming additive Adikrete, polypropylene fiber additive plasticizer Sikament Sikafiber and 290N. Experimental results on cubic specimens showed that the optimal dosage met all the parameters for the elaboration of concrete block cell was the EAF (foam-additive-fiber) with a bulk density of 1400 kg / m<sup>3</sup>, with this dosage were developed cellular concrete blocks 60 in which the tests required by the International Standard were performed. The value of the compression strength was 71.55 kg / cm<sup>2</sup> units; its compressive strength in stacks 02 units was 53.15 kg / cm<sup>2</sup> and resistance to compression muretes diagonal of 60 cm x 60 cm was 5.65 kg / cm<sup>2</sup>; These results confirmed the hypothesis. A technical and economic analysis of cellular concrete blocks roughly performed

**Keywords:** Cellular Concrete, foaming additive, fiber, blocks, bulk density.

# *Capítulo I*



---

## *Introducción*

## **CAPITULO I: INTRODUCCION**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La albañilería a través del tiempo se ha convertido en uno de los sistemas constructivos más utilizados en la obtención de muros de viviendas y edificios.

En la actualidad encontramos una gama de materiales que se utilizan en la albañilería, como ladrillos de arcilla, bloques de concreto, ladrillos silico - calcareos, entre otros, los cuales se caracterizan principalmente por su resistencia a la compresión y su baja resistencia a la flexión.

De todos los materiales, el ladrillo cerámico se presenta como el material más utilizado para la autoconstrucción debido, en algunos casos, a su disponibilidad y a que el poblador que labora en la construcción está familiarizado con las tareas de albañilería de muros portantes y no portantes; sin embargo en otros casos significa factores desfavorables, como por ejemplo cuando la obra se encuentra en sitios alejados de los centros de producción, el transporte del material encarece el costo de la construcción; en otras situaciones se presenta limitada disponibilidad de materiales y equipamientos (hornos) como para fabricar elementos de calidad; así mismo puede considerarse con criterios de impacto ambiental la utilización ventajosa de recursos locales. (Ninasquiche, Y. 2010)

Para corregir todas estas deficiencias de la albañilería tradicional, se propone el uso de bloques de Concreto Celular que resultan cómodos en la mampostería. Siendo livianos, tienen una resistencia mecánica adecuada, con ellos se obtienen una buena aislación tanto térmica, como acústica.

En el interior de las edificaciones construidas con Concreto Celular, se mantiene un microclima agradable. Gracias a su característica de aislante térmico se evitan pérdidas de calor en invierno, mientras en verano el ambiente permanece fresco. Además, las paredes de Concreto Celular no son susceptibles a la acción de la humedad exterior y dejan que los vapores, generados dentro de la edificación se ventilen, contribuyendo a un balance de la humedad relativa ambiente. En comparación con el concreto tradicional, la estructura aireada del Concreto Celular constituye una ventaja, ya que lo convierte en un aislante por excelencia, que a diferencia de las fibras minerales o teknopor no se malogra con el tiempo.

Los bloques de Concreto Celular son fáciles de elaborar y de cortar, son de tamaño grande, pero livianos. Debido a la precisión con la que se fabrican piezas exactamente iguales, las superficies son mucho más regulares que en mampostería tradicional, por lo tanto, los revoques se pueden anular o reducir en su espesor.

Las canalizaciones para instalaciones de agua, gas y electricidad también se benefician por la rapidez con la que se ejecutan. A la vez, que para asentarlos se usa el mortero normal o también un mortero ya prefabricado comercial, acelerándose el proceso constructivo y reduciéndose su costo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En relación con los elementos expuestos, surgió la idea de investigar un nuevo material de construcción para la ciudad de Cajamarca, dicha investigación consistió en el diseño y elaboración de un bloque de Concreto Celular que cumpla con los requisitos físicos y mecánicos mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana, para ser utilizado en muros no portantes, sin el uso de equipos ni mano de obra muy especializada, por lo que el problema a resolver se sintetiza en la siguiente interrogante:

*¿Los bloques de Concreto Celular diseñados y elaborados en esta investigación, cumplen con los requerimientos mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana para ser usados como unidades de albañilería no estructural?*

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- Los bloques de Concreto Celular diseñados y elaborados en esta investigación si cumplen con los requisitos físicos y mecánicos mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana para ser usados como unidades de albañilería no estructural.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Obtener un bloque de Concreto Celular que cumpla con los requerimientos establecidos por la Normas Técnica Peruana, para ser usado como unidad de albañilería no estructural.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Lograr una dosificación de Concreto Celular cuya mezcla sea óptima y garantice una densidad y resistencia adecuadas para bloques de Concreto Celular.
- Determinar las propiedades físicas y resistentes del Concreto Celular en estado fresco y endurecido respectivamente.
- Determinar las dimensiones del bloque de tal forma se logre una operación de asentado o aparejo, más rápida y eficiente.
- Realizar un análisis técnico económico en la elaboración de bloques de Concreto Celular con referencia a los ladrillos artesanales de arcilla cocida y los bloques de concreto convencionales.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El costo de los materiales y mano de obra en la actualidad hace que cada vez sea menor la posibilidad de que un poblador pueda adquirir una vivienda digna, debido a su bajo poder adquisitivo, por lo que es importante buscar nuevos materiales alternativos que disminuyan los costos de producción, de la realidad mencionada partió la idea de diseñar y elaborar un bloque de Concreto Celular alternativo para ser utilizado como unidad de albañilería no estructural, cuyas características sean: dimensiones mayores a las unidades de albañilería tradicionales para lograr un sistema rápido que disminuya el tiempo de construcción y el costo de la mano de obra y por otra parte se buscó diseñar un bloque de Concreto Celular que sea manejable y de poco peso, para no tener que emplear maquinaria ni personal especializado.

La escasa información acerca de las bondades del Concreto Celular y sus múltiples aplicaciones como material alternativo en Perú y especialmente en la ciudad de Cajamarca, hace necesario su estudio para determinar sus propiedades, ventajas y

desventajas con respecto al concreto convencional y su aplicación en unidades de albañilería.

En nuestra realidad el Concreto Celular es un material poco conocido, siendo esta investigación una propuesta para impulsar su desarrollo como una opción adicional para la industria de la construcción.

## **1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

El objetivo de la presente investigación es diseñar y elaborar un bloque de Concreto Celular para ser utilizado como unidad de albañilería no estructural, esto motivo a estudiar las propiedades del Concreto Celular tanto en estado fresco como en estado endurecido, de tal manera que se obtengan resultados positivos que demuestren que el Concreto Celular puede ser usado para la elaboración de unidades de albañilería, con menores costos globales y con mejores propiedades que la unidad de albañilería tradicional de arcilla cocida, la misma que se usa en un alto porcentaje en construcciones informales.

Se ha buscado que los bloques cumplan con los requisitos físicos y mecánicos mínimos establecidos en la Norma Técnica Peruana.

Esta investigación servirá como fuente bibliográfica para estudiantes y profesionales de ingeniería civil, así como también servirá como base para la ejecución de otros trabajos de investigación similares al ejecutado.

## **1.7. DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. DELIMITACIÓN**

La investigación se realizó dentro del territorio Peruano, en la ciudad de Cajamarca, utilizando agregados de la cantera "La Victoria", ubicada en el Km 2.7 de la carretera Cajamarca- Jesús, Cemento Portland Tipo I y agua usada en el campus universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca, materiales representativos de la localidad de Cajamarca, por lo que el estudio se circunscribe a la localidad de Cajamarca.

Para la obtención del bloque de Concreto Celular, se usó agregados de la cantera mencionada, el aditivo espumante de origen sintético - Adikrete, producido por la empresa POKRETE ARGENTINA S.A. con presencia en Perú, fibras de polipropileno

de 19 mm de longitud y aditivo súper plastificante Sikament 290N de la marca SIKA, materiales necesarios para mejorar el comportamiento del Concreto Celular y encontrar una dosificación adecuada y óptima.

Esta tesis se inició a principios de Julio del 2015, por lo que la información y normativa obtenida de las NTP, Normas ASTM o recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los siguientes años.

Todos los estudios fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

### **1.7.2. LIMITACIONES**

En Perú, no es frecuente el conocimiento de la naturaleza, propiedades y comportamiento mecánico del Concreto Celular, ni sus bondades y posibles usos como material alternativo al concreto convencional, no obstante se ha realizado algunos estudios acerca de sus propiedad y usos, también se han desarrollado trabajos de investigación a nivel Pre Grado y Pos Grado en países como, Ecuador, Chile, Colombia, Venezuela, Brasil, sin embargo la poca información en nuestro medio se convierte en un limitante para el desarrollo de la tesis.

Otra de las limitaciones del presente trabajo, es que se estudió únicamente el diseño de un bloque de Concreto Celular y su aplicación en unidades de albañilería, con el uso de un solo Aditivo espumante de origen sintético (Adikrete), un solo tipo de cemento y agregado fino obtenido de una sola cantera.

En esta investigación sin embargo no se aborda es estudio de la durabilidad, propiedades acústicas, térmicas ni químicas del Concreto Celular, ya que en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional no cuenta con equipos apropiados y de última generación, necesarios para la determinación de dichas propiedades.

## *Capítulo II*



---

*Marco Teórico*

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

#### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

- (Herrera, 2014), Puerto Ordaz, Guayana, Venezuela. Estudió diversos pre-tratamientos de la cascarilla, así como combinaciones y variaciones; se realizaron concretos con distintos contenidos de Cascara de Arroz. Se determinaron propiedades como la densidad, resistencia a flexión y compresión de los concretos a realizar. Esta cascarilla de arroz la utilizó en el Concreto Celular ya que poseen características propias, que mediante métodos en el proceso de su elaboración se habrá hecho más ligero que el concreto utilizado, concluyendo que la utilización de la ceniza de cascara de arroz y Microsílice ayuda con la reacción cementante, permitiendo usar menos cantidad de cemento y un ajuste en la relación agua/cementante, donde es posible reemplazar una parte del cemento con una cantidad de ceniza de cascara de arroz y Microsílice ayudando a reducir costo y obteniendo propiedades mecánicas aceptables.
- (Rengifo & Yupangui, 2013), Quito, Ecuador. El propósito de esta investigación fue obtener resultados experimentales del Hormigón Celular y encontrar diferentes aplicaciones dependiendo de su resistencia, para ello utilizaron una relación única de 1:2 (1 porción de cemento: 2 porciones de arena), analizaron el proceso de elaboración del hormigón celular, ya que los valores obtenidos del diseño teórico fueron diferentes a los valores experimentales, para este estudio se trabajó con cinco tipos de arenas de diferentes canteras, de las cuales se eligió la que mejores propiedades presentaba, usaron fibras y aditivos para aumentar la resistencia mecánica del hormigón celular, concluyendo finalmente que el hormigón celular se ve afectado directamente por el tipo de agregado siendo la granulometría el factor más importante, el porcentaje de agua de la mezcla de diseño se ajusta aproximadamente del 10% al 15% dependiendo del tipo de agregado fino, la resistencia lograda varió de 41 kg/cm<sup>2</sup> hasta 208 kg/cm<sup>2</sup> para densidades aparentes desde 1200 kg/cm<sup>2</sup> hasta 1700 kg/cm<sup>2</sup>, concluyeron también que la incorporación de aditivos con inclusión de aire tienen una buena relación con el aditivo espumante aumentando la resistencia a compresión.
- (Chavez, Funes, Silis, & Torres, 2006), Antiguo Cuscatlán, La Libertad, el Salvador. Estudiaron una metodología para el diseño, elaboración y colocación de mezclas de Concreto Celular. Concluyeron que es posible elaborar una mezcla de Concreto

Celular para resistencias con un  $f_c=140 \text{ kg/cm}^2$ , para la elaboración del Concreto Celular el tamaño máximo nominal debe ser de 3/8" y no sobrepasara el 20% del total de agregados, el revenimiento del Concreto Celular debe ser de 8-10 plg para facilitar su colocación, Es necesario calibrar la espuma preformada antes de cada batchada para garantizar la densidad de la misma, la cual debe variar entre 80 y 90  $\text{kg/m}^3$ .

- (Luzardo & Arraga, 2004), en el 2004 en Maracaibo – Venezuela. Analizaron el Concreto Celular y sus aplicaciones en la fabricación de paneles livianos. En este estudio se buscó producir una dosificación de mortero celular cuya mezcla sea óptima y que garantice una densidad y costos de construcción bajos, además de determinar las dimensiones apropiadas de los paneles. Este estudio encontró que los elementos hechos de mortero celular tienen como ventaja que aumentan su volumen en un 15% aproximadamente con respecto al volumen convencional, las dimensiones de los bloques que producen mayor ensamblaje son 14.5x80x30cm. La resistencia a la compresión a los 28 días fue de  $f_c=43 \text{ kg/cm}^2 > f_c \text{ min}=30 \text{ kg/cm}^2$ , cumpliéndose los objetivos de dicha investigación.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

- (Ninasquiche, 2010), Lima, Perú. Estudio el uso del Concreto Celular en unidades de albañilería no estructural, para ello utilizó polvo de aluminio en porcentajes de 1%, 2% y 3%, concluyendo que la dosificación en el Concreto Celular del polvo de aluminio óptima es de 3% en peso de cemento, consiguiendo disminuir los pesos de los cubos de ensayo en 10% en promedio, comparado con la utilización de aluminio al 1% en peso de cemento, la utilización de polvo de aluminio al 3% en peso de cemento disminuye en 35% en promedio los esfuerzos a compresión, comparado con utilizar polvo al 1% en peso de cemento.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

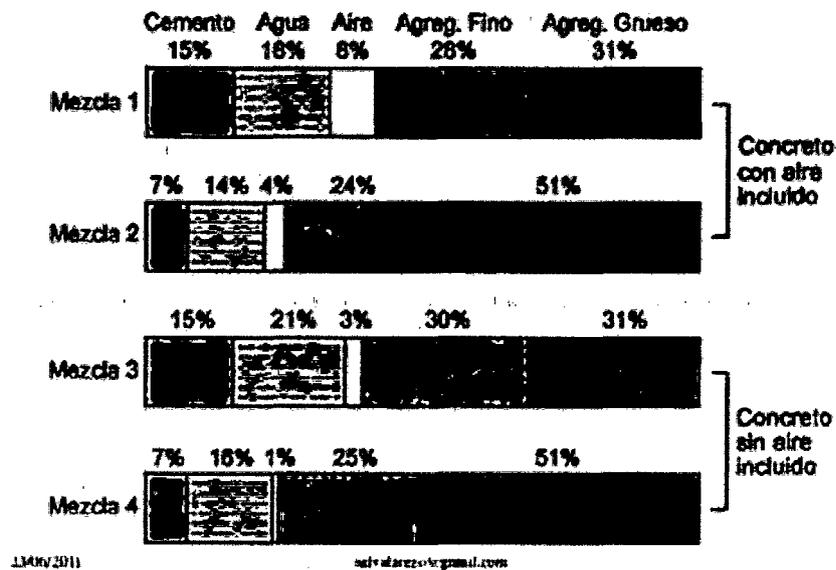
- En nuestro medio, este el primer estudio ejecutado de esta línea de investigación.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. CONCRETO**

En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados

o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto ( piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos a compresión. (Sánchez de Guzmán, 2010)



*Imagen N° 1: Composición del Concreto*

*Fuente: Sánchez de Guzmán (2010). Tecnología del concreto y del Mortero.*

### 2.2.1.1. El concreto fresco

Es plástico y moldeable, por lo tanto puede ser colocado en moldes de variadas formas, creando efectos arquitectónicos especiales. Las propiedades requeridas del concreto fresco son:

- ✓ **Uniformidad de la mezcla:** es decir que todos los componentes estén homogéneamente distribuidos.
- ✓ **Buena trabajabilidad:** de modo tal que sea posible colocar y consolidar el concreto fácilmente. La trabajabilidad se mide por diferentes métodos, en los cuales se determina la deformación de un cono (Asentamiento, Vebe, etc.).
- ✓ **Fraguado:** el cual debe ocurrir solo después de que el concreto es colocado, por ejemplo, no antes de dos horas después del fraguado
- ✓ **Endurecimiento del concreto:** el cual debe ocurrir a temperatura ambiente.



*Imagen N° 2: Concreto en estado fresco*

*Fuente: <http://www.http://constructoraindustrialyminas.com/>*

#### **2.2.1.2. El concreto endurecido**

Es una roca artificial durable, fuerte y su aplicación es económica, al compararse con otros materiales de construcción como el acero, la madera, etc. Las propiedades deseadas del concreto endurecido son:

- *Durabilidad:* es decir resistencia contra el intemperismo, el congelamiento y el ataque químico.
- *Resistencia:* a los esfuerzos, principalmente resistencia a la compresión.
- Muy baja permeabilidad de agua.
- Resistencia a la abrasión.



*Imagen N° 3: Sección del concreto endurecido*

*Fuente: <http://www.notasdeconcretos.blogspot.com>*

Todas las propiedades son influenciadas por la calidad de la pasta de cemento Portland. El principal factor en la pasta de cemento es la relación entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento. Esta relación es llamada agua/cemento (A/C).

La calidad de la pasta es determinada por la cantidad total de agua de mezclado con el cemento. La adición de mucha cantidad de agua tendrá un serio efecto de debilitamiento de la pasta. Es por esta razón que el concreto comúnmente se clasifica de acuerdo con la cantidad de agua que se le mezcla con el cemento.

Las principales características físicas del concreto convencional, donde se indican valores aproximados:

- **Densidad:** Aproximada de entre los 2200 y 2500 kg/m<sup>3</sup>.
- **Resistencia a la compresión:** De 100 a 500 kg/cm<sup>2</sup> para el concreto ordinario. Existen concretos especiales de hasta 2000 kg/cm<sup>2</sup>, con densidad de más de 3200 kg/cm<sup>3</sup>.
- **Resistencia a la tracción:** proporcionalmente baja, generalmente despreciable en el cálculo global, del orden de un décimo de la resistencia a la compresión.

### **2.2.2. CONCRETO LIGERO**

Concreto ligero es un concreto que tiene una densidad menor que la del concreto convencional. La densidad puede variar de 300 kg/m<sup>3</sup> a 2000 kg/m<sup>3</sup> en comparación con el concreto normal que tiene una densidad de alrededor de 2300kg/m<sup>3</sup> a 2400kg/m<sup>3</sup>. La menor densidad se logra a través del aire incorporado para inducir poros o huecos en las mezclas o mediante el uso de agregado de baja densidad. Como Mak et al (2007) sugiere, no existe un código estándar para la clasificación de concreto ligero. Por lo tanto, la clasificación de concreto ligero se basa actualmente en su densidad. Esto es porque en la mayoría de los casos la fuerza y la densidad de concreto están directamente relacionados. Conforme al ACI213R-14 se clasifica el concreto ligero de acuerdo a su densidad y aplicaciones como se muestra a continuación:

- **Concreto de baja densidad:** Este concreto de peso ligero tiene una densidad comprendida entre  $300 \text{ kg/m}^3$  -  $1.000 \text{ kg/m}^3$ . Se utiliza como una parte no portante de un edificio, tales como aislamiento y particiones. La fuerza de este concreto es inferior a 7 MPa, y los áridos utilizados más comúnmente son vermiculita y perlita.
- **Concreto de densidad media:** tiene una densidad de alrededor de  $1.000 \text{ kg/m}^3$  a  $1.600 \text{ kg/m}^3$ . Los mayores áridos utilizados en este tipo de concreto son la piedra pómez y escoria. Este tipo de concreto es generalmente un producto cementoso que puede ser utilizado como un material de soporte de carga. Los resistencia mínima de este tipo de concreto es de alrededor de 17 MPa.
- **Concreto de densidad media con un intervalo de densidad entre  $1.600 \text{ kg/m}^3$  a  $2.200 \text{ kg/m}^3$**  también puede ser referido como concreto ligero estructural y se utiliza para de soporte de carga estructuras. Los agregados utilizados en este tipo de concreto son principalmente ceniza volante, escoria expandida y la pizarra.



**Imagen N° 4:** Muestras de concreto ligero y concreto común con mismo peso  
**Fuente:** [http://www. notasdeconcretos.blogspot.com](http://www.notasdeconcretos.blogspot.com)

### 2.2.2.1. Ventajas

En comparación con el concreto tradicional, el concreto ligero proporciona varios beneficios que pueden ser divididos en tres perspectivas:

- **Ingeniería**

*Reducción de la carga muerta:* La masa por unidad de fuerza es menor en concretos ligeros. Esto ofrece ventajas significativas en la reducción del peso propio de las estructuras de concreto tales como edificios de gran altura.

*Sismo / Reacción Terremoto:* El concreto ligero es mejor en la absorción de ondas de choques en comparación con el concreto ordinario. El concreto ligero puede absorber fácilmente el impacto de cargas sin dañarse.

- **Económico**

*Ahorro de tiempo:* La reducción de la masa está involucrado en la construcción en comparación con el concreto ordinario, el tiempo de construcción se puede reducir. Componentes de construcción, tales como pisos, paredes, techos y techos con propiedades de peso ligero pueden ser transportados y manipulados mucho más fácilmente.

*Ahorro de costo:* Debido a su ligereza, el concreto ligero puede reducir fácilmente el costo de transporte, mano de obra y la manipulación.

- **Ambiental**

Mientras concreto ligero fue desarrollado originalmente para reemplazar el concreto ordinario, lo que puede también personalizar para reemplazar la madera en la construcción residencial. Por lo tanto, la deforestación puede ser reducida en gran medida. Por otra parte, los ingredientes posibles para concretos ligeros son principalmente derivados de los residuos industriales, como cenizas volantes. Esto ayudará a convertir los residuos en productos más ecológicos. Además, el hecho de que el concreto de peso ligero es más ligero que el concreto ordinario, ayuda a ahorrar algunas emisiones de CO<sub>2</sub>, especialmente durante el transporte de los materiales

#### **2.2.2.2. Métodos de obtención de concreto ligero**

Existen tres métodos amplios para producir concreto. En el primero se emplean agregados ligeros porosos de baja densidad relativa aparente, que puede ser de origen natural, volcánico (piedra pómez, escoria celular, arcillas expandidas, bentonita) o artificiales (perlita, vesiculita), agregados plásticos (bolas de poliestireno expandido)

en vez de agregado normal, el concreto resultante se conoce generalmente con el nombre agregado ligero empleado.

El segundo método para obtener concreto ligero es simplemente omitiendo en la mezcla el agregado fino, de manera que queden en ellas grandes cavidades intersticiales. Por lo general se emplea agregado grueso de peso normal. Este concreto se conoce comúnmente con el nombre de concreto sin finos.

El tercer método para producir concreto ligero consiste en la formación de vacíos (burbujas de aire atrapadas en la masa), comprendidos entre 0.1 y 1.5 mm, capaces de mantenerse estables durante los procesos de mezclado y compactación de la masa. Este tipo de concreto se le conocen con diversos nombres: Como concreto aireado, celular, espumoso, o gasificado.

#### **A. Concreto con agregados livianos**

El concreto normal presenta el inconveniente de su elevada densidad que penaliza los pesos propios de la estructura. Por ello, en distintas épocas se ha buscado hacerlo más ligero, con la utilización de agregados ligeros, naturales o artificiales.

Hay precedentes históricos como la cúpula del Panteón, en Roma, del siglo II a.c., de 44 m de diámetro, en donde se empleó piedra pómez como agregado de la mezcla. Pasando a nuestra época, en 1917 ya se produjeron en Estados Unidos agregados ligeros en hornos rotatorios por expansión de arcillas y pizarras que, entre otras cosas, se emplearon en calzadas de puentes y cascos de buque, experimentando dicha tecnología un fuerte desarrollo en los años cincuenta, debido a la construcción de rascacielos.

Aunque los agregados ligeros pueden ser naturales, los concretos ligeros se basan en agregados fabricados industrialmente, por expansión, en hornos de arcilla o pizarra, en general, con lo que se logran unas propiedades definidas y fiables.

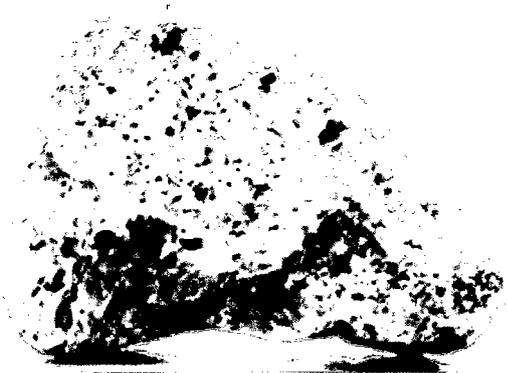
La expansión crea un agregado que encierra cantidades variables de aire en su interior y que proporciona ligereza (densidades aparentes entre 300 y 800 kg/m<sup>3</sup>) y elevados valores de aislamiento térmico y acústico. La ligereza de los agregados se traduce en la del concreto con ellos fabricado, que oscila entre 1,000 y 2,000 kg/m<sup>3</sup> para el concreto ligero estructural, alcanzando, sin embargo, resistencias elevadas que

permiten el pretensado e incluso su calificación de concreto de alta resistencia (> 50 MPa).

La fabricación de estos concretos precisa tener en cuenta, en lo que a dosificación respecta, los fenómenos de desecación por absorción de agua durante el mezclado, transporte y vertido, que afectarían la docilidad, aunque un exceso de agua perjudicaría el aislamiento térmico y podría permitir la flotación del agregado grueso, más ligero, debido a la vibración. El bombeo también es un tema para estudiar, debido a que la presión introduce agua de la mezcla en el agregado, secándola, con el peligro de que se forme una obstrucción en la tubería. Se necesita un curado más intenso que con el concreto normal, ya que el calentamiento de fraguado es mayor, debido a la menor masa presente y menor conductividad térmica.<sup>1</sup>

Existe una gran diversidad de agregados livianos con distintas propiedades, características y origen, entre los más representativos se encuentran:

- *Piedra Pómez*
- *Arcilla expandida*
- *Poliestireno expandido*
- *Perlita expandida*
- *Vermiculita*
- *Cascote de ladrillo*



*Imagen N° 5: Piedra Pómez*  
*Fuente: <http://www.hesspumice.com>*

## **B. Concreto sin finos**

El concreto sin finos contiene poco o nada de agregado fino, debido a que está caracterizado por poseer vacíos uniformemente distribuidos. El concreto sin finos consiste en agregado grueso y pasta de cemento. Las partículas de agregado se cubren con una pasta delgada de cemento y están en contacto punto a punto, lo cual proporciona la resistencia. La gran interconexión entre los vacíos le proporciona una baja densidad comparada con la del concreto convencional. La estructura del concreto sin finos lo hace un material ideal para su aplicación en capas y pisos en los que se

---

<sup>1</sup> José Luis Ramírez Ortiz, (1999). La múltiple identidad del concreto. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/multiple1.htm>

requiere drenado. El agregado grueso debe ser preferentemente un material de un solo tamaño (siendo los más comunes los tamaños máximos nominales de 10 y 20 mm. Sin embargo, se ha encontrado que los agregados combinados (de 10 y 7 mm, y de 20 y 14 mm) se comportan satisfactoriamente.

Generalmente, la relación cemento-agregado por volumen está en el rango de 1:6 a 1:8. Las mezclas más delgadas, las de 1:8 a 1:10 reducen la probabilidad de que los poros sean bloqueados por la pasta de cemento. De esta manera, para capas de drenaje en donde puede tolerarse una menor resistencia, es preferible 1:10. La relación agua/cemento necesita mantenerse baja por ejemplo 0.4–0.5, para asegurar que la pasta de cemento cubra con una capa los agregados y que tenga lugar la segregación<sup>2</sup>.

La resistencia es menor que en el concreto convencional y es una función de la relación agregado/cemento, la relación agua/cemento y el grado de compactación (la densidad). Por su parte, las resistencias típicas están en el rango de 5 a 13 MPa. Una mezcla con una relación de agregado: cemento de 8:1; una relación de agua/cemento de 0.4, y una densidad de 1850 kg/m<sup>3</sup>, tiene una resistencia de aproximadamente 7.5 MPa<sup>3</sup>.



*Imagen N° 6: Concreto sin finos*

*Fuente: <http://theconstructor.org/concrete/no-fines-concrete-mix-proportion/6727/>*

### **C. Concreto con inclusión de aire**

Un medio de obtener concreto ligero es introducir burbujas de gas dentro de la mezcla fluida de cemento y arena para producir un material de estructura celular, bastante

---

<sup>2</sup> IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto). El concreto en la obra, Problemas causas y soluciones. Concreto sin Finos. Consultado 15 de ago.2015. Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2007/jul07/PROBLEMAS.pdf>.

<sup>3</sup> Ibid 2, p.100

similar al hule espuma, que tenga celdas de tamaños entre 0.1 y 1 mm. La piel de las celdas debe ser capaz de resistir el mezclado y la compactación. Por esta razón, el concreto resultante se conoce como Concreto Celular o aireado. Hablando estrictamente, en este caso el término concreto es inapropiado, ya que la mezcla no suele contener agregado grueso (Luzardo & Arraga, 2004).

Existen dos métodos básicos para producir la aireación, dándose un nombre apropiado al producto final de cada uno.

- *Concreto gasificado.* Reacción química de una base alcalina (cal y cemento), con un ácido, para liberar gas que se incorporan al mortero fresco permitiendo que la masa se expanda sin dejar que el gas se escape.
- *Concreto con espuma.* Introducción de burbujas aire al interior del mortero, por medio de espuma preformada de origen sintético u origen proteico.

Las burbujas permanecen estables y mantienen su forma durante todo el proceso de fijación y se convierten en células de aire discretos en la matriz de cemento. La presencia de burbujas de aire da al concreto aireado su peso ligero propiedad.

#### **a. Concreto Celular Gaseoso**

También conocido como Concreto Celular curado en autoclave y sus siglas en inglés Autoclaved Aerated Concrete (AAC), se producen mediante la adición de una cantidad predeterminada de polvo de aluminio y aditivos a la mezcla de arena de sílice, cemento o cal y agua. Burbujas macroscópicas se forman por reacción química entre el polvo de aluminio y el hidróxido de calcio presente en el agente de cementación durante el escenario líquido o plástico.

La cantidad de polvo de aluminio necesaria para elaborar un concreto gaseoso de peso específico determinado depende a igualdad de los demás factores del tamaño de sus granos. En general, dicha cantidad oscila entre 0,25 y 0,50% del peso del cemento. Las experiencias de laboratorio realizadas con este tipo de concretos revelan un mejor comportamiento cuando se utiliza reducida cantidad de polvo fino (que pasa por tamiz de 6400 mallas)<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> ICA (Instituto del Cemento Argentino), (s.f). Hormigones Livianos. Consultado el 25 de jun.2015. Disponible en : <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

El polvo de aluminio forma aluminatos con los compuestos alcalinos del cemento, liberando hidrógeno. El volumen de gas realmente aprovechable alcanza al 40 a 50% del volumen teóricamente desarrollable. En efecto, la cantidad de polvo de aluminio a agregar para obtener un concreto gaseoso que tenga un determinado volumen de poros (en % del volumen final) y para una determinada relación agua – cemento, puede ser calculada a priori. Sin embargo, no todo el gas producido queda retenido en la masa en forma de poros: una parte escapa a través de la pasta y otra reacciona una vez comenzado el endurecimiento del cemento, por lo cual escapa a través de las paredes.

Por otra parte, el grado de fineza del polvo de aluminio que se utiliza influye manifiestamente en la velocidad con que se producirá la reacción química correspondiente. En efecto, utilizando polvo de aluminio de grano grueso la gasificación dura entre 20 y 30 minutos; con polvo de grano mediano, de 1 a 2 horas y con polvo de grano fino, 2 a 2 1/2 horas<sup>5</sup>.

AAC se curan bajo alta presión de vapor a temperaturas alrededor de 180 a 210 °C y que típicamente tienen densidades en el intervalo de 400 - 700 kg / m<sup>3</sup> y la fuerza a compresión de 2 – 8 MPa. Este método implica un alto costo de producción. Además, los productos están limitados por el tamaño de las instalaciones de tratamiento en autoclave en la fábrica y sitio de fundición no siempre es posible.

El concreto preparado por este método, originalmente fue desarrollado en Suecia en la primera mitad del siglo XX, más precisamente en los años 20, cuando se instaló la primera planta para producir elementos prefabricados livianos con la marca YTONG.

El año 1943, Josef Hebel adquiere la tecnología, la perfecciona y desarrolla el sistema para fabricar bloques livianos, utilizados en mampostería y paneles prefabricados de Concreto Celular, curado en autoclave, llamado "Sistema Hebel", muy popular en la actualidad dentro de la industria de la construcción de viviendas, se lo utiliza por sus características aislantes y por su fácil operación.

Este material ha sido usado intensamente en Europa durante los últimos 80 años, en el Medio Oriente desde hace unos 40 años, en E.E.U.U se fabrica industrialmente desde mediados de los años 90 y en Australia y Sudamérica se han instalado plantas

---

<sup>5</sup> Ibid 4, p. 08

para producir este tipo de unidades livianas de concreto bajo licencia de las casas matrices Hebel, Celcon, Xella, etc. desde hace 20 años.



*Imagen N° 7: Bloques curados en autoclave (AAC) para muros*

*Fuente: <http://www.ytong.es>*

*<http://www.Hebel.mx>*

## **b. Concreto Celular aireado**

Para elaborar el Concreto Celular aireado existen básicamente dos métodos ampliamente utilizados, el primero de ellos consta colocar a la mezcla espuma preformada, densa y de alta estabilidad, esta espuma es previamente elaborada mediante un aparato llamado generador de espuma, como es de suponer este proceso implica que el mortero y la espuma sean preparados por separado. El segundo método consiste en la adición de un aditivo espumante de alto poder de concentración, el cual se adiciona directamente a la mezcla de concreto o mortero celular, el aditivo al mezclarse con los demás materiales atrapa cierto porcentaje de aire, entre más veces gire el mezclador, más aire atrapa.

La espuma orgánica y biodegradable no genera ninguna reacción química, únicamente sirve como material de envoltura para el aire. En consecuencia el Concreto Celular aireado se comporta como el concreto ordinario, en particular en relación con el curado, endurecimiento y más importante "envejecimiento", aumenta infinitamente su fuerza por la hidratación (formación de cristales en cemento), siempre y cuando este expuesto a la humedad en la atmósfera<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Neopor System, "Cellular Lightweight Concrete". Consultado el 06 de Sep. 2015. Disponible en: <http://www.neopor.com/en/dlc.htm>

Este tipo de concreto rápidamente ha encontrado un amplio campo de aplicación dentro de la construcción. Inicialmente usado en la fabricación de tabiques divisorios, techos, bloques alivianados, posteriormente, en aplicaciones geotécnicas tales como; rellenos de suelos, taludes y muros de contención. Su difusión y acogida se debe esencialmente a su eficiencia, facilidad de transporte, ligereza, plasticidad, fluidez y otras características más, que lo diferencian del concreto convencional, elaborado con agregados pétreos.

La presencia de burbujas de aire de tamaño uniforme, dan un alto grado de fluidez a la mezcla, trascendental durante los procesos de elaboración, transporte y vertido de la masa de hormigón. La estabilidad de las burbujas de aire es bastante alta, de tal forma, que no solamente resiste el maltrato durante la mezcla, vaciado y relleno de los encofrados, sino que permanece estable hasta el endurecimiento del hormigón.



*Imagen N° 8: Espuma Preformada*  
*Fuente: [www.hafifbetonblok.com](http://www.hafifbetonblok.com)*

### **2.2.3. CONCRETO CELULAR**

De acuerdo a lo visto hasta este momento, se reconoce como Concreto Celular tanto al concreto gaseoso, como al concreto aireado. La presente investigación está enfocado solamente al estudio del producto elaborado a partir de un aditivo espumante, es decir, espuma preformada inyectada en la mezcla, proceso que, permitirá

suministrar las muestras necesarias para los ensayos de laboratorio que proporcionarán el soporte necesario a la presente investigación.

El Concreto Celular fue creado con el objetivo de encontrar un material de construcción que presentara las características positivas de la madera (aislamiento, solidez y trabajabilidad) y dejará de lado sus desventajas (combustión, fragilidad y necesidad de mantenimiento).

Hasta el presente se ha perfeccionado como producto y se ha generalizado su uso a nivel mundial, aunque es un mortero se le conoce como Concreto Celular. Han pasado varias décadas desde que se crearon los concretos ligeros (celulares) para abaratar costos, simplificar o mejorar la calidad de las edificaciones. Sin embargo, en Perú no ha tenido gran acogida para su desarrollo. En el país no existe una cultura de nuevos materiales.

### **2.2.3.1. Definición**

El Concreto Celular tiene características propias; por un medio espumoso adicionado a la mezcla se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava, que por tanto tiempo ha sido el material empleado en las construcciones. Esto, sin embargo, es más bien una descripción cualitativa en vez de una definición. Asimismo, se ha sugerido definirlo como un concreto hecho con base en agregados de peso ligero, lo cual se presta a dudas ya que en todos lados se conoce por agregado de peso ligero aquel que produce un peso ligero. En todo caso, existen algunos concretos ligeros que ni siquiera contienen agregados<sup>7</sup>.

En vista de la dificultad para definirlo, el concreto ligero fue conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad superficialmente seca no es mayor a  $1,800\text{kg/m}^3$ <sup>8</sup>. Ciertamente, resulta confuso definir con certeza al Concreto Celular debido a que siempre que se encuentra un producto parecido, tanto en la forma de elaboración como en las aplicaciones, existe la tendencia a denominarlo con el nombre genérico de Concreto Celular, lo que sí está claro, es que toda denominación de Concreto Celular lleva en su composición la incorporación de burbujas de aire ya sea de forma química o por acción mecánica.

---

<sup>7</sup> IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto). Concretos Ligeros. Consultado el 06 de Sep.2015. Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>.

<sup>8</sup> Ibid 7.

Pese a todas estas confusiones en cuanto a su definición, el ACI aclara en algo estos conceptos, definiendo al Concreto Celular como *“Aquel concreto en el cual todo o parte del agregado es sustituido por burbujas de gas o aire”*.

También el ACI 523.2R-96, define el Concreto Celular como *“Un producto ligero que consiste en cemento portland y/o limo con material fino silíceo, tal como arena, escoria o ceniza volante, mezclado con agua para formar una pasta que tiene una estructura de células vacías homogénea. La estructura celular se alcanza esencialmente por la inclusión de huecos-macroscópicos como resultado de una reacción química que libera gas o de la mecánica incorporación de aire u otros gases”*.

De todas las definiciones vistas hasta el momento y con el fin de evitar confusiones futuras y con el afán que se comprenda mejor la presente investigación, es necesario llegar a un acuerdo, para lo cual se propone que en el desarrollo de la presente investigación, solamente se llame Concreto Celular, al material producto de la mezcla de cemento portland, arena fina, agua y espuma preformada, previamente elaborada.



**Imagen N° 9: Concreto Celular con Espuma Preformada**

**Fuente: [www.concretoscelulares.com.br](http://www.concretoscelulares.com.br)**

### **2.2.3.2. Características y propiedades**

Contrario a los concretos tradicionales la característica más sobresaliente del Concreto Celular es su densidad, sin embargo sus propiedades térmicas, acústicas, su trabajabilidad, etcétera, generan grandes ventajas en la industria de la construcción. Su factibilidad de diseño permite gran confort a quienes lo utilizan y disfrutan de él.

## A. Características Mecánicas

- **Compresión.** La guía del ACI 523 3R-14 menciona que los factores tales como la densidad, contenido de cemento, relación a/c, propiedades y contenido de los agregados y las condiciones de curado afectan a la resistencia a la compresión de Concreto Celular. La densidad es un criterio clave para controlar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de Concreto Celular, debido a que la fuerza está relacionada con la densidad en estado y fresco (y, por lo tanto, también estado seco). La densidad en estado fresco puede ser determinada durante la colocación del Concreto Celular, para estimar la resistencia a la compresión eventual que se podría obtener, utilizando los resultados presentados en la **Tabla N° 1**.

**Tabla N° 1:** Composición y propiedades del Concreto Celular (McCormick 1967)

DENSIDAD		ARENA: CEMENTO	AGUA: CEMENTO	FACTOR CEMENTO		RESISTENCIA A COMPRESION ESTIMADA	
lb/ft3	(kg/m3)			lb/yd3	(kg/m3)	PSI	MPa
50	800	0.79	0.6	564	335	250	1.7
50	800	0.55	0.5	658	390	300	2.1
50	800	0.29	0.5	752	446	400	2.8
60	960	1.27	0.6	564	335	350	2.4
60	960	0.96	0.5	658	390	400	2.8
60	960	0.65	0.5	752	446	500	3.5
70	1120	1.75	0.6	564	335	450	3.1
70	1120	1.37	0.5	658	390	500	3.5
70	1120	1.06	0.45	752	446	600	4.1
80	1280	2.22	0.6	564	335	600	4.1
80	1280	1.78	0.5	658	390	650	4.5
80	1280	1.42	0.45	752	446	750	4.8
90	1440	2.85	0.45	564	335	1100	7.6
90	1440	2.19	0.5	658	390	1100	7.6
90	1440	1.78	0.45	752	446	1300	9
100	1600	3.18	0.6	564	335	1250	8.6
100	1600	2.65	0.45	658	390	1700	11.7
100	1600	2.14	0.45	752	446	1800	12.4
110	1760	3.66	0.6	564	335	2000	13.8
110	1760	3.06	0.45	658	390	2600	17.9
110	1760	2.44	0.5	752	446	2500	17.2

DENSIDAD		ARENA: CEMENTO	AGUA: CEMENTO	FACTOR CEMENTO		RESISTENCIA A COMPRESION ESTIMADA	
lb/ft3	(kg/m3)			lb/yd3	(kg/m3)	PSI	MPa
120	1920	3.32	0.6	658	390	3320	22.9
120	1920	2.8	0.5	752	446	3520	24.3

Fuente: ACI 523 3R-14

- **El módulo de elasticidad (E)** del concreto es una medida de la deformación que sufriría el material bajo condiciones de carga de corta duración en el rango elástico. El módulo de elasticidad del Concreto Celular está en relación con su densidad y resistencia a la compresión; es bajo con relación al concreto convencional (Ver Tabla N° 2).

Tabla N° 2: Resistencia a la compresión y módulo de Elasticidad del Concreto Celular (Tabla Cortesía de Elastizell)

Densidad, lb/ft3 (kg/m3)	Resistencia a la compresión 28días, psi (MPa)	Módulo de Elasticidad, ksi (GPa)
50 (800)	250 a 400 (1.7 a 2.8)	149 (1.03)
65 (1040)	400 a 550 (2.8 a 3.8)	297 (2.05)
80 (1280)	600 a 750 (4.1 a 5.1 )	491 (3.38)
95 (1520)	800 a 1100 (5.5 a 7.6)	772 (5.31)
110 (1760)	1300 a 1600 (9.0 a 11.0)	1191 (8.21)

Fuente: ACI 523 3R-14

- **Resistencia a la tensión y cortante.** Por lo regular, la resistencia a la tensión no se toma mucho en cuenta; sin embargo, cuando se requiera mejorarla, es conveniente utilizar fibras, sobre todo en los paneles para utilizar en muros. Las fibras pueden ser de vidrio resistente al álcali, metálico, de resinas o plásticas.

## B. Propiedades físicas

- **Trabajabilidad.** El Concreto Celular tiene excelente trabajabilidad y es autonivelante. Como tal, se considera autocompactante y por lo tanto no requiere vibración durante la colocación. El alto contenido de aire elimina cualquier tendencia al sangrado. Puede ser bombeado a distancias considerables tanto vertical como horizontalmente.



*Imagen N° 10: Trabajabilidad del Concreto Celular*

*Fuente: [www.valmix.com.ar](http://www.valmix.com.ar)*

- **Densidad:** La densidad varía desde los 300 kg/m<sup>3</sup> hasta los 1800 kg/m<sup>3</sup>, lo que hace del Concreto Celular un material sumamente ligero, propiedad muy apreciada en la construcción. Cuando se trata de bloques para mampostería y elementos prefabricados, proporciona economía en el transporte, es posible elaborar piezas de mayor tamaño con densidades bajas (Imagen N° 11), lo que facilita su manipulación y agilizar los procesos constructivos. Por otra parte “Los esfuerzos laterales a los que se ven sometidos los edificios en caso de actividad sísmica son proporcionales al peso de la construcción. A menor peso de la estructura, menor será el esfuerzo horizontal que recibirá, por lo que las estructuras de Concreto Celular permiten minimizar las cargas sísmicas”<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Noguerrón. Construcciones técnicas. Hormigón celular. Disponible: <https://cooperativa.ecoxarxes.cat/file/download/86285>. Citado por (Rengifo & Yupangui, 2013)



*Imagen N° 11: Placa de Concreto Celular*  
*Fuente: [concretoscelulares.blogspot.com](http://concretoscelulares.blogspot.com)*

- **Aislamiento acústico.** El Concreto Celular exhibe una excelente absorción acústica, debido a su estructura celular, debido a su densidad reducida, el Concreto Celular también mejora la atenuación del sonido. Los bloques de Concreto Celular son muy usados por que ofrecen gran aislación acústica.



*Imagen N° 12: Aislamiento acústico del Concreto Celular*  
*Fuente: [www.administradorfincasblog.com](http://www.administradorfincasblog.com)*

- **Resistencia al Fuego:** Se ha demostrado en pruebas de laboratorio hechas a paneles de Concreto Celular, que pueden mantenerse a fuego directo las losas durante una hora, y los muros durante cuatro horas, sin perder su condición estructural. En las mismas pruebas, este concreto soportó ser expuesto a

temperaturas arriba de 700° C y su punto de difusión es a 1000-2000° C, dependiendo de los materiales básicos<sup>10</sup>.



**Imagen N° 13:** Resistencia al fuego del Concreto Celular  
**Fuente:** [www.argentino.com.ar](http://www.argentino.com.ar)

- **Aislante térmico.** La aislación térmica que proporciona el Concreto Celular se debe principalmente a que el aditivo espumante crea un gran número de alveolos que contienen millones de micro células de aire, no comunicados entre sí, lográndose una vez producido el fragüe una material termoaislante diez veces mayor que el concreto ordinario con mayor confort térmico y teniendo un ahorro energético en la calefacción y aire acondicionado.

**Tabla N° 3:** Conductividad térmica del Concreto Celular secado al horno

Densidad seca al Horno lb/ft3 (kg/m3)	Conductividad térmica k	
	Btu/h.ft2. (°F in.)	W/(m.K)
50 (800)	1.3	0.2
65 (1080)	2.1	0.3
80 (1280)	2.8	0.4
95 (1520)	4	0.57
110 (1760)	5.4	0.77

**Fuente:** ACI 523 3R-14

- **Absorción de agua:** La absorción de agua del Concreto Celular depende de su densidad y los materiales de la mezcla, generalmente suele ser baja debido

<sup>10</sup> Cervantes, Alejandro. 2008. Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño. Nuevas tecnologías en Concretos- Concreto Celular-Concreto reforzado con fibra-Concreto ligero estructural. Consultado el 10 Sept. 2015. Disponible en : [http://administracionytecnologiaparaldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias\\_cong2008/1.pdf](http://administracionytecnologiaparaldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias_cong2008/1.pdf)

a que las células o alveolos que contiene no están conectados. La adición de ceniza volante o humo de sílice puede reducir la porosidad capilar, por lo tanto la disminución de la absorción de agua.

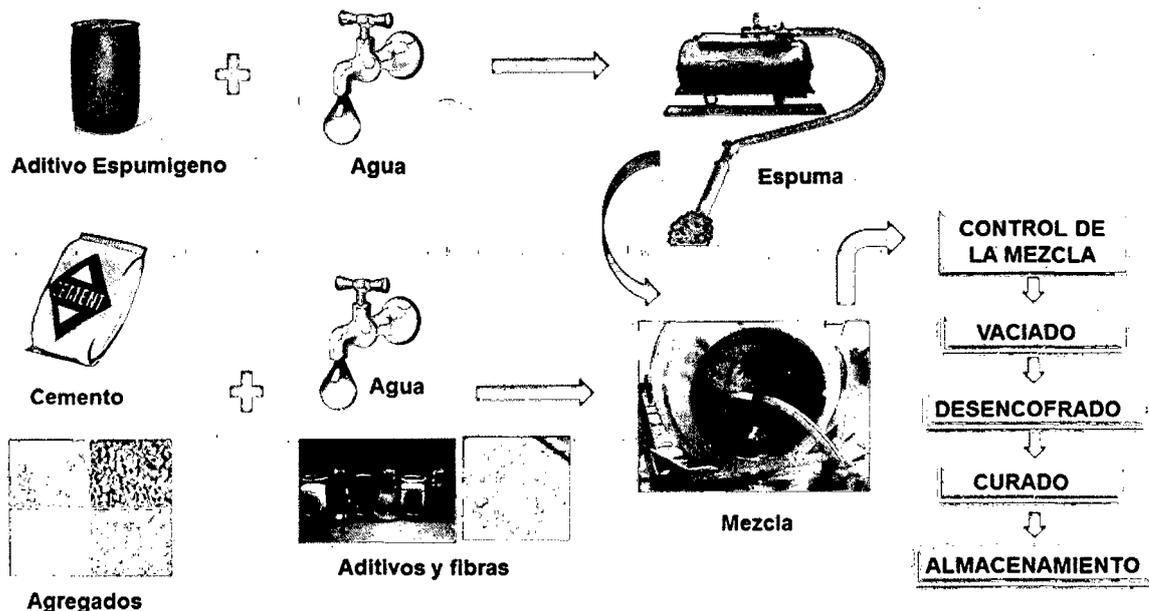
- **Resistencia al congelamiento y descongelamiento:** El Concreto Celular tiene una excelente resistencia a congelación y descongelación, debido a su alto contenido de cemento y su estructura interna de vacíos.

### **2.2.3.3. Proceso de producción de Concreto Celular**

Como ya se mencionó anteriormente para producir Concreto Celular existen varios métodos, de los cuales la presente investigación solo tratará del producto obtenido a través de la adición de espuma preformada a la mezcla de cemento, arena, agua y/o aditivos.

El Concreto Celular se debe mezclar mecánicamente para producir una distribución uniforme de materiales y la densidad esperada. La mezcla excesiva debe evitarse, ya que puede causar cambios en la densidad y consistencia, un ejemplo de la secuencia de mezcla se muestra en la Fig. N° 15. Una vez obtenida la dosificación específica a través del diseño, la secuencia de mezcla deben ser la siguiente: el agua y posibles sustancias solubles en agua se añaden primero al mezclador, seguido del agregado (s), el cemento y/o otros aditivos. Todos los ingredientes excepto la espuma preformada que se añade último, luego se debe mezclar hasta obtener una consistencia uniforme. Esta secuencia minimiza la destrucción de las células de aire. La variación de la secuencia recomendada es permisible si demuestra ventajosa.

La cantidad de aire que se puede incluir en los concretos aireados prefabricados o colados en sitio varía de 20 a 50 por ciento en volumen cuando se los utiliza estructuralmente, pero puede llegar a ocupar de 51 a 80 por ciento en concretos colados en sitio destinados sólo para aislamiento térmico, de empaque o relleno.



*Imagen N° 14: Ejemplo de secuencia de mezcla  
Fuente: Elaboración propia*

#### 2.2.3.4. Aplicaciones

La utilización de Concreto Celular en edificios, construcciones y pavimentos se está haciendo cada vez más extensa. A continuación se presentan algunas de las aplicaciones típicas actualmente en uso:

- ✓ **Densidades de 300-600 kg/m<sup>3</sup> (19-38 lbs/ft<sup>3</sup>).** Logradas con cemento y espuma solamente. Este material se utiliza en azoteas y pisos como aislante térmico y acústico y se aplica en suelos rígidos (o sea en sí no es un material estructural).
- ✓ **Densidades de 600-900 kg/m<sup>3</sup> (38-56 lbs/ft<sup>3</sup>).** Logradas con arena, cemento y espuma. Se emplean para la fabricación de bloques y paneles precolados/premoldeados para paredes de revestimiento o divisorias, losas para cielos rasos (techos falsos), capas de aislamiento térmico y acústico en edificios residenciales y comerciales de varios pisos.
- ✓ **Densidades de 900-1200 kg/m<sup>3</sup> (56-75 lbs/ft<sup>3</sup>).** Logradas con arena, cemento y espuma. Este material se utiliza en bloques y paneles de concreto para las capas externas de edificios, así como en paredes divisorias, losas de concreto para techos y pisos.

- ✓ **Densidades de 1200-1600 kg/m<sup>3</sup> (75-100 lbs/ft<sup>3</sup>).** Logradas con arena, cemento y espuma. Este material se utiliza en paneles prefabricados de cualquier dimensión para usos comerciales e industriales.
- ✓ **Densidades de 1600-1800 kg/m<sup>3</sup> (100-115 lbs/ft<sup>3</sup>).** Logradas con arena, cemento y espuma. Este material se utiliza en losas y en otros elementos portantes, donde se exige una buena resistencia.

### **2.2.3.5. Ventajas y desventajas del Concreto Celular**

El Concreto Celular tiene muchas ventajas y bondades en comparación con concreto convencional, se puede emplear en la fabricación de alivianamientos brindando el máximo aprovechamiento del material con baja producción de escombros, menor costo en materiales de terminación como estuco, además es un material ecológico ya que una vez cumplido su ciclo de vida puede ser demolido, triturado y vuelto a reutilizado en la fabricación de los mismos, pero así como tiene muchas ventajas y bondades también tiene desventajas y una de ellas es que es más costoso que el concreto convencional y requiere mucho más cuidado para su producción.

#### **A. Ventajas**

- **Resistencia al fuego.** Es extremadamente resistente al fuego y es apto para los trabajos con riesgo de incendio. Las pruebas han demostrado que, además de la protección prolongada contra el fuego, la aplicación de un calor intenso, como una llama a alta energía mantenida cercana a la superficie, no provoca ni la rotura ni la explosión, contrariamente al comportamiento del concreto con densidad normal.
- **Durabilidad.** Es un material de larga duración que no está sometido al efecto del tiempo. No se descompone y es duradero como una roca. Su alta resistencia a la compresión permite que se pueda utilizar un menor peso/volumen en la construcción.
- **Calor.** Gracias a la alta variación térmica, las construcciones con Concreto Celular logran acumular calor, lo que permite reducir los gastos de calefacción del 20 al 30%.

- *Microclima.* Evita la pérdida de calor en invierno; es resistente a la humedad, permite evitar las temperaturas muy altas en verano y controlar la humedad en el aire absorbiéndola y favorece la creación de un microclima (como una casa de madera).
- *Montaje rápido.* La baja densidad y, por tanto, la ligereza del Concreto Celular, junto al mayor tamaño de los bloques respecto a los ladrillos, permite aumentar sensiblemente la velocidad de colocación. El Concreto Celular se puede trabajar y cortar fácilmente para ranurar canales y pasos para cables eléctricos y tubos. La facilidad de montaje es debido a la alta precisión de sus dimensiones, con una tolerancia de  $\pm 1$  mm.
- *Aislamiento acústico.* Tiene una absorción acústica alta. Los edificios construidos con Concreto Celular cumplen las normas en materia de aislamiento acústico.
- *Compatibilidad ambiental.* Su respeto medioambiental es sólo superado por la madera. El coeficiente de compatibilidad ambiental del concreto poroso es 2; el de la madera 1, el de los ladrillos 10 y el de los bloques de arcilla expandida 20.
- *Versatilidad.* Gracias a su facilidad de elaboración, se pueden producir varias formas de ángulos, arcos y pirámides que aumentan el valor estético de los edificios.
- *Economía.* La exactitud geométrica de las dimensiones de los bloques de Concreto Celular permite hacer más sutil el aplanado interno y externo. El Concreto Celular pesa del 10% al 87% menos respecto al concreto de peso normal. Esta fuerte reducción en el peso, supone un ahorro importante sobre el costo de la estructura y los cimientos.
- *Protección.* El Concreto Celular protege de la propagación del fuego, y corresponde al primer grado de resistencia, como se ha demostrado en las pruebas. Se puede usar, por lo tanto, para construcciones antiincendio.
- *Transporte.* La combinación favorable de peso, volumen facilita el transporte de este material para las construcciones, tanto de material premezclado como elementos prefabricados.

## **B. Desventajas**

- Económicamente es más costoso.
- El encofrado necesita más cuidado para el momento en la colocación
- El Concreto Celular por tener mayor porosidad es más vulnerable a los ataques químicos (agua freática, corrosiva, ambientes contaminados y escurrimiento de líquidos reactivos).
- La presencia de vacíos en el concreto ocasiona la disminución de la resistencia determinando el rango de utilidad del producto, por lo que muchas veces la resistencia no siempre es la condición predominante para el concreto ya que en otros casos es compensatorio.
- Se requiere que el curado del Concreto Celular sea en cámaras herméticas muy resistentes y de elevado precio, especialmente si se trata de fabricar elementos de grandes dimensiones.
- Es necesario establecer un sistema de producción (dosificación, mezclado y curado) más regularizado, ya que cualquier factor influye en la propiedades físicas y mecánicas del producto final. Por ejemplo un mal amasado puede influir en la mezcla incompleta entre los elementos pétreos, cemento, agua y espuma, por otro lado un exceso de amasado influye en la segregación de los componentes del hormigón.
- Se debe manejar un buen curado para evitar la retracción en el concreto, se reduce este proceso a través de un curado a vapor de presión en autoclave. El curado en el Concreto Celular varía según el uso que se le dé.
- Los concretos livianos producen mayores deformaciones que el concreto convencional, esto se debe a que presentan módulos de elasticidad más bajos.

## **2.2.4. ADITIVO ESPUMANTE ADIKRETE**

### **2.2.4.1. Descripción**

Adikrete es un aditivo líquido, incoloro, utilizado para incorporar un alto porcentaje de micro burbujas de aire estabilizado, tanto a los morteros de cemento y arena, como a las pastas de cemento. El aditivo actúa sobre la tensión superficial del agua y la generación de espuma se produce por acción mecánica, siendo fundamental la eficiencia del batido.

### **2.2.4.2. Características y propiedades**

- ✓ Incorpora a la mezcla de hormigón un elevado porcentaje de espuma haciéndola bien fluida permitiendo su transporte y descarga de manera similar a las convencionales.
- ✓ Permite obtener densidades de hasta 1300 kg/m<sup>3</sup>.
- ✓ Produce concretos bombeables con bombas rotativas.
- ✓ Brinda al material terminado excelentes propiedades aislantes de temperatura y sonido.
- ✓ Se obtienen mezclas plásticas, compactas y homogéneas
- ✓ Permite una reducción considerable del agua de amasado.
- ✓ No altera los tiempos de fragüe lo que permite una variada dosificación según la necesidad de prestación manteniendo los valores de resistencia mecánicas en el concreto endurecido.
- ✓ Se obtienen concretos más resistentes a los ciclos de congelamiento y deshielo.

### **2.2.4.3. Uso e información**

El principio de funcionamiento del Adikrete está basado en la oclusión uniforme de micro burbujas que se expanden dentro de la masa ocupando espacios y generando cavidades vacías que hacen disminuir el peso de la masa endurecida de manera considerable. Adikrete es indicado para morteros celulares de menores densidades (300 – 1000 kg/m<sup>3</sup>), (aislaciones térmicas y acústicas) así como también para

concretos celulares de uso estructural, trabajando en el rango de 1300 a 1800 kg/m<sup>3</sup>; (contrapisos, tabiques aislantes y resistentes, muros, etc.).

#### **2.2.4.4. Aplicación y consumo**

Para concretos celulares de 300 a 1000 kg/cm<sup>3</sup> se requieren mezcladoras especiales:

- ✓ Se produce la espuma inyectando aire a presión sobre una mezcla de aditivo con agua, la proporción indicada es 1 litro de aditivo 40 litros de agua.
- ✓ La espuma obtenida se mezcla con el cemento, la arena y el resto de agua. Mediante este procedimiento se obtiene un gran espectro de densidades de concretos celulares.

Para concretos celulares de uso estructural se pueden usar mezcladoras convencionales Aditivos para hormigón batiendo más tiempo para lograr materiales de pareja densidad.

## *Capítulo III*



---

# *Materiales y Métodos*

## CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue realizada en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050, entre los meses de Julio a Noviembre del 2015, con cinco (05) meses consecutivos.

Tabla N° 4: Ubicación geográfica de la investigación

Coordenadas geográficas (Gados, minutos, segundos)		Coordenadas geográficas (Grados decimales)		Coordenadas UTM	
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Este	Norte
7° 10' 0.83" S	78° 29' 44.98" W	7.1668965 S	78.4958285 W	776574.78	9207046.83

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Uso: 17
- ✓ Hemisferio: Sur

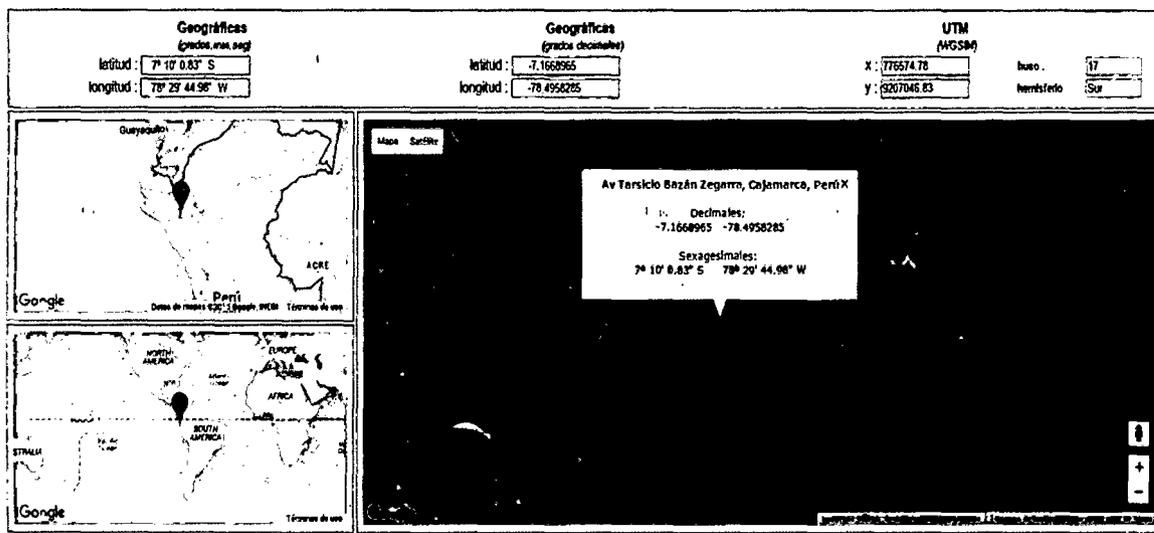


Imagen N° 15: Fotografía Satelital de la ubicación geográfica de la investigación  
Fuente: <http://www.mundivideo.com/coordenadas.htm>

#### 3.1.2. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En el caso del presente trabajo, se ha determinado que la investigación es de tipo experimental-proyectiva, porque ésta, se ha basado en primer lugar en la determinación experimental de una dosificación óptima de Concreto Celular, estudiando las propiedades de estas dosificaciones tanto en estado fresco como en

estado endurecido, para posteriormente una vez determinada la dosificación óptima proceder a elaborar los bloques de Concreto Celular y estudiar sus características físicas y mecánicas, todo esto, con la finalidad de comprobar si los bloques de Concreto Celular cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana, para ser usados como unidades de albañilería no estructural.

La investigación es del tipo proyectiva porque se orientó a elaborar una propuesta en el uso de los bloques de Concreto Celular como unidad de albañilería no estructural.

### **3.1.3. POBLACIÓN**

La población de estudio viene a ser los cubos de Concreto Celular elaborados para determinar la dosificación óptima y los bloques de Concreto Celular elaborados con la dosificación óptima.

### **3.1.4. MUESTRA**

Con respecto a la muestra, se tomó una muestra no probabilística de carácter Intencional, para ello se elaboró 144 Cubos de Concreto Celular de 10x10x10 cm, para determinar la dosificación óptima y un lote de 60 Bloques de Concreto Celular de 09x19x39 cm, a fin de determinar las características y propiedades de los mismos, lo cual dará tendencia más no precisión.

### **3.1.5. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La técnica de recolección de datos se seleccionó en atención a las características de la población, en este caso se optó por la técnica de observación directa, la cual consistió en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso estudiado, tomar la información y registrarla para su posterior análisis, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos, para estar pendiente de los sucesos y analizar los eventos ocurrientes en una visión global, en todo un contexto natural.

### **3.1.6. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

En respuesta a la técnica utilizada, el instrumento aplicado fue una planilla de observación, la cual contiene datos referentes a:

- ✓ El tipo de mezcla que se resultó factible, es decir; la dosificación óptima para el diseño de los bloques. Esta lista contenida los siguientes datos: número de

mezcla, tipo y materiales usados, cantidad de material y resultados obtenidos de las mezclas tanto en estado fresco y endurecido.

- ✓ Las resistencias obtenidas para cada cubo y bloque de Concreto Celular, el tiempo de curado en días, la fecha de ensayo, la altura, peso y la carga de ruptura.

Aparte de la lista de cotejo, los siguientes instrumentos fueron utilizados para la recolección de datos:

- ✓ Cámara fotográfica: Instrumento que nos permite guardar imágenes y videos de aquellas actividades resaltantes de la investigación.
- ✓ Ensayos de laboratorio: Con lo cual obtendremos toda la información técnica de cada cubo y bloque de Concreto Celular, necesaria para poder realizar nuestras comparaciones y conclusiones sobre el tema de investigación.
- ✓ Computador con sistema operativo Windows 10.
- ✓ Cuaderno de anotaciones.

### **3.1.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

El procesamiento de datos y gráficos se hizo mediante el software Microsoft Excel 2013.

## **3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

### **3.2.1. AGREGADO FINO**

Se conoce como agregados al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial de diferentes granulometrías empleados para fabricar concreto u otros usos (filtros para pozas de relaves, bases y sub-bases, etc.), ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

La arena constituye la mayor parte del porcentaje en peso del concreto. Dicho porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el concreto fraguado y endurecido. La adecuación de un agregado para la fabricación de concreto debe cumplir un

conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas como las NTPs o sus equivalentes, las normas internacionales ASTM. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño.

Los agregados fino y grueso deberán ser manejados como materiales independientes, los agregados finos, son la fracción proveniente de la desintegración de natural o artificial de las rocas que pasa el tamiz 3/8" (9,52 mm), y queda retenido en el tamiz N° 200 (0,075 mm).

### 3.2.1.1. Cantera de estudio

Los agregados de estudio se obtuvieron de la Planta de Chancado "La Victoria" propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca, los agregados son extraídos de las márgenes del río Chonta, en el km 2.7 de la carretera Cajamarca-Jesús, provincia y departamento de Cajamarca. Geográficamente en las coordenadas UTM según Datum WGS-84, ubican a la cantera en la Franja 17M con coordenadas 0779892.50 Este y 9205014.38 Norte, a una altitud de 2637 m.s.n.m.

Tabla N° 5: Ubicación geográfica de la Cantera "Victoria"

Coordenadas geográficas (Gados, minutos, segundos)		Coordenadas geográficas (Grados decimales)		Coordenadas UTM	
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Este	Norte
7° 11' 6.36" S	78° 27' 56.55" W	7.1850991 S	78.4657073 W	779892.50	9205014.38

Fuente: Elaboración propia

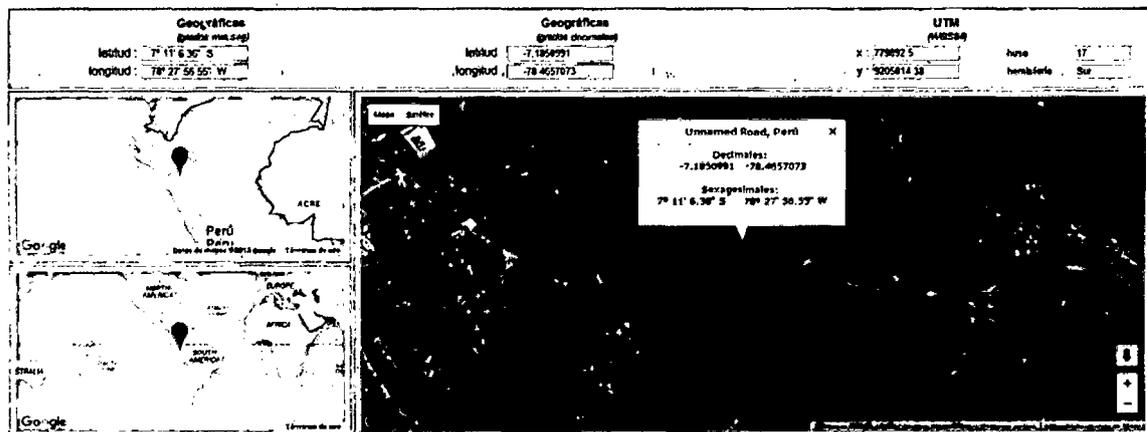


Imagen N° 16: Fotografía Satelital de la ubicación geográfica de la Cantera La Victoria  
Fuente: <http://www.mundivideo.com/coordenadas.htm>

En esta cantera se explotan a cielo abierto aproximadamente 9 ha. de material pétreo de libre aprovechamiento, existente en el lecho del Río Chonta a razón de 250 m<sup>3</sup> por día y 75.000 m<sup>3</sup>/año, durante un período de 36 meses (3 años), para transportarlo hasta las diversas obras públicas de los sectores de la ciudad de Cajamarca y los sectores rurales de la provincia de Cajamarca.

Los agregados son clasificados por tamaños y calidad del material proveniente de la cantera y el procesamiento de aproximadamente 200 m<sup>3</sup> por día de materiales triturados en tamaños 3/4", 3/8" y filler, así como también la clasificación de la arena, para la preparación de concretos y asfalto, durante un tiempo indefinido, para la ejecución de las diversas obras públicas y comunitarias de hormigón y asfaltado de calles, vías rurales, escuelas, colegios, casas comunales, canchas deportivas, etc.

### **3.2.1.2. Características físicas y mecánicas del agregado fino**

El agregado fino que se utiliza en la elaboración de Concreto Celular, según la guía del ACI 523.3R-14, debe estar de acuerdo con las normas ASTM C 33, C 144, C 332 o C 330, sin embargo en la práctica, las empresas fabricantes de aditivos espumantes, tienen sus propias recomendaciones para la preparación de Concretos Celulares de mejor calidad y desempeño. En muchos casos, la granulometría de estos agregados no corresponde a los límites fijados por las normas ASTM mencionadas. En la elaboración de Concreto Celular con adición de aluminio en polvo, Sistema Hebel, proceso en el cual se utiliza autoclave para el curado, por ejemplo, se utiliza agregado muy fino, arena o cenizas volantes, para que lleguen a combinarse perfectamente con los finos de cemento y los finos del polvo de aluminio.

Cuando se trata de Concreto Celular a base de espuma preformada, se puede ser más flexible, a parte del uso de agregado fino, se permite el uso de arena de finura media a gruesa. Neopor<sup>11</sup> recomienda usar arena de río lavada con diámetros que varían de 2 mm a 8 mm, esto dependiendo de la densidad deseada del Concreto Celular, con un mínimo de 20% de finos.

#### **a. Extracción y preparación de muestras para ensayo**

Para la obtención del agregado fino se realizaron los procedimientos de muestreo descritos en la NTP 400.010-2011, en concordancia con la Norma ASTM D75-2014,

---

<sup>11</sup> Ibid. 06

donde se describe la obtención de agregados almacenados en pilas. De acuerdo a la norma citada, las muestras para los ensayos de calidad deberán ser obtenidas de productos acabados.

La cantidad de muestra requerida para los ensayos se indica en la **Tabla N° 6**. Se extraerán porciones de muestra en el campo de acuerdo con el método de ensayo normalizado que se presenta en la ASTM C 702-2011 o por otros métodos de ensayo que sean aplicables.

**Tabla N° 6:** Medidas de las muestras de campo requeridas para los ensayos

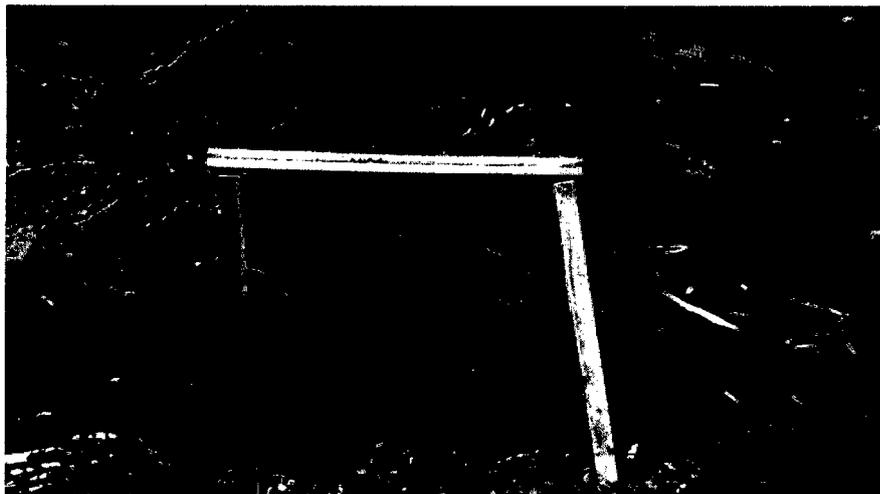
<b>Tamaño del agregado</b>	<b>Masa de la muestra de campo, min. Kg (lbs)</b>	<b>Muestra de campo Volumen min. L (Gal)</b>
<b>Agregado Fino</b>		
<b>2.36 mm (N° 8)</b>	10 (22)	8 (2)
<b>4.75 mm (N° 4)</b>	10 (22)	8 (2)
<b>Agregado Grueso</b>		
<b>09.5 mm (3/8 in)</b>	10 (22)	8 (2)
<b>12.5 mm (1/2 in)</b>	15 (35)	12 (3)
<b>19.0 mm (3/4 in)</b>	25 (55)	20 (5)
<b>25.0 mm (1 in)</b>	50 (110)	40 (10)
<b>37.5 mm (1 1/2 in)</b>	75 (165)	60 (15)
<b>50.0 mm (2 in)</b>	100 (220)	80 (21)
<b>63.0 mm (2 1/2 in)</b>	125 (275)	100 (26)
<b>75.0 mm (3 in)</b>	150 (330)	120 (32)
<b>90.0 mm (3 1/2 in)</b>	175 (385)	140 (37)

*Fuente: NTP 400.010-2011*

Debido a que en la presente investigación solo se utilizaría agregado fino convencional, arena natural sin triturar, proveniente de la cantera "La Victoria", se procedió solamente a realizar la extracción de las muestras de agregado fino en bolsas, para prevenir pérdidas o contaminación de la muestra, así como daños durante su transporte hacia las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, según lo establecido en la NTP 400.010-2011.

Luego de la extracción de las muestras y una vez que se encontraban en el Laboratorio de Mecánica de Materiales, se procedió a la reducción de las mismas a tamaños de ensayo, esto según la NTP 400.043-2015 o su equivalente la norma ASTM C 702-2011. El material producto del ensayo fue colocado sobre una superficie libre de impurezas que puedan contaminar el mismo, luego se batió por tres veces el material

con ayuda de una palana formando un pequeño montículo, enseguida se esparció el agregado de forma circular y se lo dividió en cuatro partes de apariencia simétrica, se tomó dos mitades opuestas y se procedió a repetir el ensayo hasta obtener las muestras según los pesos necesarios aproximados para cada ensayo.



*Imagen N° 17: Selección de agregado fino para ensayos  
Fuente: Foto propia*



*Imagen N° 18: Cuarteo de la muestra de agregado fino  
Fuente: Foto propia*

#### **b. Materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200**

El ensayo para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado en agregados es realizado según lo estipulado en la NTP 400.018-2013 en concordancia con la ASTM C 117-2013.

El principio del ensayo consiste en evaluar el recubrimiento superficial que puede tener el agregado como consecuencia del material más fino y su poder perjudicial en el comportamiento del concreto o morteros en los que pueda ser empleado.

➤ **Aparatos.**

- ✓ **Tamices:** Se utiliza el tamiz normalizado de 1,18 mm (N° 16) y el de 75 µm (N° 200), que cumplan con los requisitos de la Norma NTP 350.001.
- ✓ **Recipientes:** Un recipiente de suficiente tamaño para contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin pérdidas de la muestra ni el agua.
- ✓ **Balanza:** Sensible a 0.1 % del peso medido.
- ✓ **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C.

➤ **Cantidad de muestra.**

El tamaño de la muestra de ensayo, después del secado será de conformidad a lo siguiente:

**Tabla N° 7:** Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4.75 mm (N° 4) o más pequeño	300
Mayor que 4.75 mm (N° 4) a 9.5 mm (3/8 pulg)	1000
Mayor a 9.5 mm (3/8 pulg) a 19 mm (3/4 pulg)	2500
Mayor a 19 mm (3/4 pulg)	5000

*Fuente: NTP 400.018-2013*

➤ **Procedimiento.**

- ✓ Se secó la muestra de ensayo a peso constante a una temperatura de 110 °C, se determinó la cantidad con una aproximación al 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.
- ✓ Después de secar y determinar la masa, se colocó la muestra de ensayo en el recipiente y adicionó agua suficiente para cubrirla. Se agitó la muestra vigorosamente con el fin de separar completamente todas las partículas más finas que el tamiz normalizado de 75 µm (N° 200) de las partículas gruesas, y

llevar el material fino a la suspensión. Se vertió inmediatamente el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre los tamices, colocando el tamiz más grueso en la parte superior.

- ✓ Se adicióno una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente con una manguera, se agitó y decantó como antes. Se repetir esta operación hasta que el agua de lavado estuvo clara.
- ✓ Se devolvió todo el material retenido sobre los tamices mediante un chorro de agua. Se secó el agregado lavado a peso constante a una temperatura de 110 °C y se determinó la masa con aproximación al 0.1 % de la masa original de la muestra.

#### ➤ Cálculos.

Se calculó la cantidad de material que pasa el tamiz normalizado de 75 µm (Nº 200) por vía húmeda tal como sigue:

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

Donde:

- ✓ A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de µm (Nº 200) por vía húmeda.
- ✓ P1 = Masa seca de la muestra original, g
- ✓ P2 = Masa seca de la muestra luego del lavado, g

#### ➤ Resultados.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 8:** Resultados de ensayo de partículas menores al tamiz Nº 200

ITEM	PROMEDIO
Arena A*	4.76 %
Arena B**	4.51 %
Arena C***	4.67 %

*Fuente: Elaboración propia*

\* Arena utilizada para elaborar Concreto Celular con una densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

\*\* Arena utilizada para elaborar Concreto Celular con una densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>.

\*\*\* Arena utilizada para elaborar Concreto Celular con una densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>.



**Imagen N° 19:** Ensayo de materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200, agregado fino.  
**Fuente:** Foto propia

### c. Granulometría del agregado fino

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, cohesión, economía, porosidad y contracción del concreto. Para la gradación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en la ASTM C33-2013 o la NTP 400.037-2002.

Los tamices a utilizar son los denominados serie módulo de finura de Duff Abrams, y los porcentajes retenidos en cada tamiz para los límites de grosor y finura según la norma NTP 400.037 se muestran en la **Tabla N° 9**.

**Tabla N° 9:** Requisitos granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

**Fuente:** NTP 400.037-2002

Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto) de la calidad requerida

El hormigón (concreto) con agregado fino cercano a los mínimo porcentajes de las mallas 300  $\mu\text{m}$  (N° 50) y 150  $\mu\text{m}$  (N° 100), puede tener dificultades con la trabajabilidad, bombeado o excesiva exudación, lo que puede regularse con adiciones finas (fillers) o aditivos incorporadores de aire.

#### **d. Análisis granulométrico del agregado fino**

Para determinar la granulometría del agregado fino se usó el método del cribado, este método se utilizó para determinar la distribución aproximada de las partículas de los agregados y por medio de una serie de procedimientos hallaremos el módulo de finura del agregado fino, según la norma **ASTM C 136-2014** o la **NTP 400.012-2013**, que resulta de dividir por 100 la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, cuyo valor no debe ser mayor que 3,1 ni menor que 2,3 (para concretos convencionales) para así evitar, la segregación del agregado grueso cuando el agregado es muy fino.

El módulo de finura de un agregado significa, que mientras mayor sea el valor más grueso será el agregado. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos, en las mezclas de concreto.

#### **➤ Aparatos.**

- ✓ **Balanza:** La balanza utilizada en el ensayo de agregado fino será con aproximación y exacta a 0.1 g ó 0.1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
- ✓ **Tamices:** Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.
- ✓ **Horno:** Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **➤ Cantidad de muestra.**

La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, será de 300 g como mínimo.

### ➤ Procedimiento.

- ✓ Se secó la muestra total a peso constante a una temperatura de 110 °C., luego se pesó una muestra de 1500 g.
- ✓ Se seleccionó tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado.
- ✓ Se ordenó y encajo los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y se colocó la muestra en partes sobre el tamiz superior.
- ✓ Se agito los tamices manualmente por un periodo suficiente.

### ➤ Cálculos.

En base a la Norma ASTM C 136 o su equivalente la NTP 400.012, se calcula el porcentaje de la muestra retenida en cada tamiz.

#### % Retenido

$$R = \frac{P_p}{P_T} \times 100$$

Donde:

- ✓ R= Porcentaje parcial de la muestra retenida en el tamiz n, (%)
- ✓ P<sub>p</sub>= Peso parcial de la muestra retenida en el tamiz n, (gr)
- ✓ P<sub>T</sub>= Peso total de la muestra, (gr)

#### Módulo de finura

$$MF = \frac{\sum R}{100}$$

Donde:

- ✓ MF= Módulo de finura.
- ✓  $\sum R$ = Suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100

### ➤ Resultados.

Para el presente estudio se ha calculado el módulo de finura para cada tipo de arena con la cual se trabajó, los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 10: Resultados módulo de finura de la arena utilizada

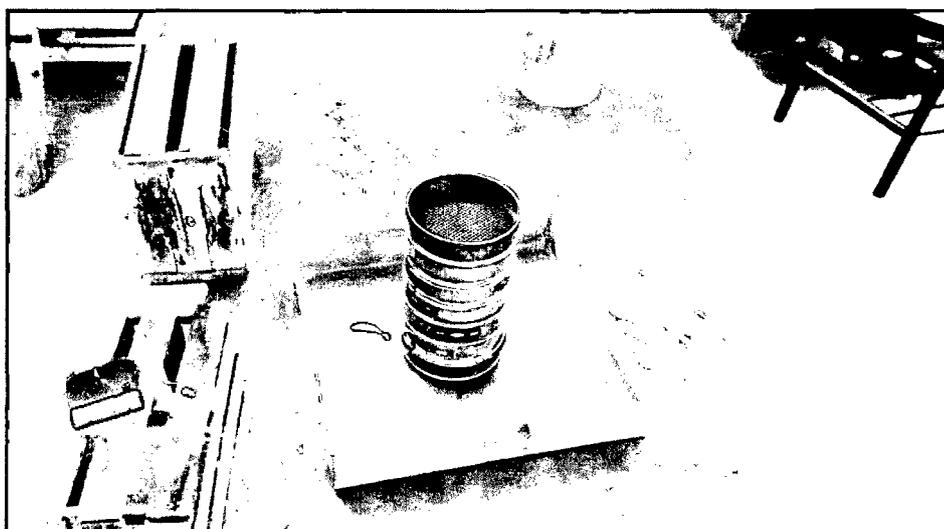
ITEM	MÓDULO DE FINURA (PROMEDIO)
Arena A <sup>+</sup>	2.44
Arena B <sup>**</sup>	2.64
Arena C <sup>***</sup>	2.78

*Fuente: Elaboración propia*

\* Arena utilizada para elaborar Concreto Celular con una densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

\*\* Arena utilizada para elaborar Concreto Celular con una densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>.

\*\*\* Arena utilizada para elaborar Concreto Celular con una densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>.



*Imagen N° 20: Equipo de ensayo para granulometría del agregado fino*

*Fuente: Foto propia*

#### **e. Coeficiente de uniformidad y de curvatura**

Luego de procesar todos los datos referentes al análisis granulométrico del agregado fino y haber realizado el gráfico de la curva granulométrica se puede determinar los coeficientes de uniformidad y curvatura, para ello debemos determinar los parámetros D<sub>10</sub>, D<sub>30</sub> y D<sub>60</sub>.

- ✓ D<sub>10</sub>: Tamaño máximo de las partículas que constituye la porción 10% más fina del agregado. Recibe el nombre de diámetro efectivo.
- ✓ D<sub>30</sub>: Tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 30% más fina del agregado. No tiene denominación especial
- ✓ D<sub>60</sub>: Tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 60% más fina del agregado. No tiene denominación especial.

Para determinar estos valores; en el gráfico de la curva granulométrica de la muestra, se trazan abscisas por los porcentajes 10, 30 y 60 de material que pasa hasta interceptar la curva granulométrica. Estos puntos de intersección representan los diámetros correspondientes a  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  que nos servirán para la obtención de los coeficientes de uniformidad y curvatura que definen cuantitativamente la graduación de los materiales granulares.

**Coefficiente de uniformidad:** es la razón por cociente entre  $D_{60}$  y  $D_{10}$ . No tiene valores límites.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Este concepto fue desarrollado por Allen Hazen con el fin de clasificar arena para filtro rápido de acueductos. No tiene valores límites pero a medida que  $D_{60}$  se aleja más de  $D_{10}$ , aumenta el coeficiente de uniformidad, lo que significa que mejora la graduación del material. Si los valores  $D_{60}$  y  $D_{10}$  son muy semejantes tenemos un material mal graduado y gráficamente tiende a una línea vertical.  $C_u$  mide la mejor representación el tamaño de los granos. Con estas consideraciones podemos afirmar que una arena bien graduada tendrá un valor de:

$C_u > 6$ .....para arena

$C_u > 4$ .....para grava

**Coefficiente de curvatura:** es la razón del cociente entre el cuadrado de  $D_{30}$  y el producto de  $D_{10}$  y  $D_{60}$ .

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Este valor sirve para controlar la curvatura o rectitud del gráfico en un sector determinado. Se lo utiliza cuando entre los puntos de  $D_{60}$  y  $D_{10}$  del gráfico presenta sinuosidad.

La experiencia indica que materiales bien graduados poseen un coeficiente de curvatura fluctuante entre 1 y 3.

## **f. Densidad relativa y absorción del agregado fino**

Este método de ensayo es realizado según la NTP 400.022-2013 o la ASTM C 128-2015 y se utiliza para determinar de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y proporciona un valor promedio que representa la muestra.

La densidad relativa (peso específico) es la relación entre el peso y el peso de un volumen de agregados completamente saturados de agua. La absorción se vincula con la porosidad del material y está directamente relacionada con la adherencia, resistencia y una buena cohesión entre los componentes del concreto, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

### **➤ Aparatos.**

- ✓ **Balanza:** Una balanza o báscula que tiene una capacidad de 1 kg o más, sensibles a 0.1 g o menos, y una precisión de 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo.
- ✓ **Picnómetro:** (para usarse con el procedimiento gravimétrico): Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual la muestra de agregado fino puede ser rápidamente introducida y en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ . El volumen del recipiente lleno hasta la marca será de al menos 50 % mayor que el espacio necesario para acomodar la muestra de ensayo.
- ✓ **El molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad:** El molde metálico deberá tener la forma de un tronco de cono con las dimensiones de la siguiente manera: 40 mm  $\pm$  3 mm de diámetro interior en la parte superior, 90 mm  $\pm$  3 mm de diámetro interior en la parte inferior y 75 mm  $\pm$  3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm. La barra compactadora de metal tendrá una masa de 340 g  $\pm$  15 g y una cara plana circular de apisonamiento de 25 mm  $\pm$  3 mm de diámetro.
- ✓ **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C  $\pm$  5 °C.

➤ **Procedimiento.**

- ✓ Se colocó la muestra de ensayo de agregado fino, obtenido a través del método de cuarteo, en un envase adecuado y se secó a peso constante a una temperatura de 110 °C, se dejó enfriar el agregado hasta una temperatura de manipulación, se lo cubrió con agua y se lo dejó reposar por 24h.
- ✓ Se extendió sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire y se removió frecuentemente para garantizar un secado uniforme, se continuó esta operación hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí.
- ✓ Se procedió a colocar el agregado fino en forma suelta en el molde cónico y se golpeó la superficie 25 veces con la varilla de metal, luego se retiró la arena suelta de la base y se levantó el molde verticalmente, se verificó que aún existía humedad libre, ya que el agregado fino mantenía la forma del cono. Se realizó esta operación dos veces más y luego de esto se observó que el agregado fino se derrumbó al quitar el cono, esto nos indicó que el agregado fino se encontraba en estado de superficie seca.
- ✓ Se introdujo en el picnómetro la muestra de agregado fino, luego se llenó de agua hasta casi los 500 cm<sup>3</sup>, enseguida se hizo rodar el picnómetro sobre una superficie plana, hasta eliminar todas las burbujas de aire, luego de aproximadamente de una hora se llenó con agua el picnómetro hasta la marca de 500 cm<sup>3</sup>.
- ✓ Se determinó el peso total del picnómetro con el agua y la muestra.
- ✓ Con mucho cuidado se retiró el material del picnómetro y se lo seco a peso constante a una temperatura de 100 °C -110 °C, por un lapso de 24 horas, luego de ello se enfrió a temperatura ambiente y se pesó la muestra.
- ✓ Se pesó el picnómetro lleno de agua hasta la marca de 500 cm<sup>3</sup>.

➤ **Cálculos.**

- ✓ **Densidad relativa (Gravedad específica) (OD):** en base al agregado secado al horno.

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica) (OD)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

A= masa de la muestra secada al horno, (gr)

B= masa del picnómetro lleno agua hasta la marca de calibración, (gr)

C= masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g

S= masa de la muestra saturada superficialmente seca, (gr)

- ✓ **Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD):** en base al agregado con superficie seca saturada.

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

- ✓ **Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente):** Calcular como sigue:

$$\text{Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

- ✓ **Absorción:** Calcular el porcentaje de absorción de la siguiente manera:

$$\text{Absorción (\%)} = 100 * \left( \frac{S - A}{A} \right)$$

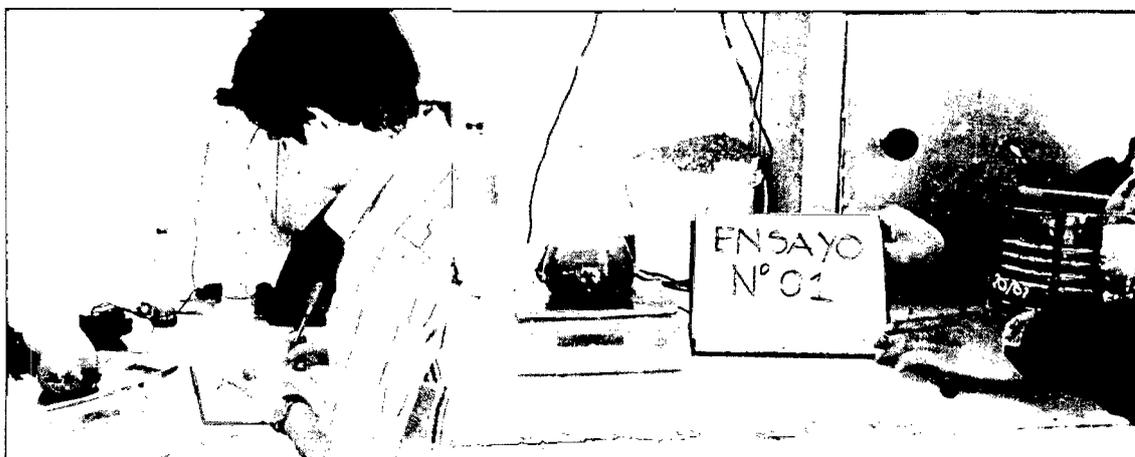
## ➤ Resultados.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 11:** Resultados de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino

ITEM	UNIDAD	ARENA	ARENA	ARENA
		A	B	C
Densidad relativa (Gravedad específica) (OD)	gr/cm <sup>3</sup>	2.601	2.574	2.581
Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD)	gr/cm <sup>3</sup>	2.633	2.613	2.613
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	gr/cm <sup>3</sup>	2.688	2.679	2.666
Absorción	%	1.235	1.516	1.235

*Fuente: Elaboración propia*



**Imagen N° 21:** Ensayo de densidad relativa y absorción del agregado fino  
**Fuente:** Foto propia

### **g. Masa por unidad de volumen del agregado fino**

La ASTM C 29-2009, define la densidad total o bruta (bulk density) o peso unitario de los agregados como la masa de un volumen unitario de agregado, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre las partículas.

De forma resumida el peso unitario consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen que éste ocupa incluyendo los vacíos de aire entre partículas y los de absorción y se expresa en  $\text{lb}/\text{pie}^3$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Los resultados obtenidos en este ensayo son necesarios para el proporcionamiento de mezclas de concreto y para conversiones masa/volumen en la aceptación de materiales en la obra.

El procedimiento de este ensayo es descrito por la **NTP 400.017-2011** o la **ASTM C 29-2009**, y establece que en base al tamaño máximo nominal del agregado se selecciona el volumen mínimo apropiado del molde a utilizar para determinar la densidad de masa. La capacidad del molde se muestra en la **Tabla N° 12**.

**Tabla N° 12:** Capacidad del depósito (molde), ensayo de densidad de masa

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad del depósito	
mm	Pulgadas	L ( m <sup>3</sup> )	pie <sup>3</sup>
12.5	1/2	2.8 (0.0028)	1/10
25	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 1/2	14 (0.014)	1/2
75	3	28 (0.028)	1
100	4	70 (0.070)	2 1/2
125	5	100 (0.10)	3 1/2

*Fuente: NTP 400.017-2011*

Los equipos y/o aparatos utilizados para realizar este ensayo son los siguientes:

➤ **Aparatos.**

- ✓ **Balanza:** Una balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.05 kg.
- ✓ **Varilla de apisonado:** Una varilla lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo o ambos extremos de forma redondeada tipo semi-esférica, con 16 mm de diámetro.
- ✓ **Recipiente:** Un recipiente cilíndrico de metal. Será hermético a prueba de agua, con bordes superior e inferior firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso. El recipiente tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura de menos del 80% ni más del 150% del diámetro.
- ✓ **Pala o cucharón:** Una pala o cucharón de un tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado.
- ✓ **Fiola:** Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta  $\pm 0.1$  cm<sup>3</sup>.
- ✓ **Placa de Vidrio:** Una placa de vidrio, de al menos 6 mm de espesor y al menos 25 mm mayor que el diámetro del recipiente a ser calibrado.

- ✓ **Grasa:** Una placa de vidrio, de al menos 6 mm de espesor y al menos 25 mm mayor que el diámetro del recipiente a ser calibrado.

➤ **Procedimiento.**

- ✓ Inicialmente se determinó la densidad del agua, para ello se llenó la fiola hasta la línea de calibración, se halló la masa de la fiola llena de agua hasta la marca de calibración y luego se pesó la fiola vacía.
- ✓ Se calibró el recipiente o molde cilíndrico de metal, se determinó la masa de la placa de vidrio y del recipiente con exactitud de 0.5 kg, se colocó una capa de grasa en el borde del recipiente para evitar fugas de agua, luego se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió el mismo con la placa de vidrio tratando de eliminar todas las burbujas y el exceso de agua, finalmente se determinó la masa de la placa de vidrio más el recipiente lleno de agua, con exactitud de 0.5 kg, luego de realizar todo el procedimiento se calcula el volumen del recipiente y/o el factor F del molde mediante las fórmulas que se verán líneas adelante.

- **Procedimiento para peso suelto**

- ✓ Se introdujo el agregado en el molde seleccionado en su estado suelto, llenándolo por medio de una cuchara o pala a una altura no mayor a 2" por encima del borde superior del molde hasta que el material rebose el molde; teniendo el cuidado de evitar en la medida de lo posible la segregación. A continuación se niveló la superficie con una regla enrasadora teniendo el cuidado de no presionar mucho para no compactar ligeramente su estado suelto o nivelando. A continuación se determinó los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de 0.05 kg) y se procedió a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes).

- **Procedimiento de apisonado**

- ✓ Se introdujo el agregado en el molde seleccionado y llenándolo en tres capas de igual altura; cada capa fue compactada por medio de la aplicación de 25 golpes (igualmente espaciados sobre su superficie) con una varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica. La primera capa se niveló con los dedos su superficie, a

continuación se varilló la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente. A continuación se llenó el recipiente a dos tercios de su altura, se volvió a nivelar y varillar (para la segunda y tercera capa se procura aplicar golpes vigorosos pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior), finalmente se llenó el recipiente hasta rebosarlo y se varilló de la forma descrita anteriormente, Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora. A continuación se determinó los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de 0.05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes).

➤ **Cálculos.**

La densidad de masa se calcula de acuerdo a la norma NTP 400.017 o ASTM C 29, mediante las siguientes ecuaciones:

**Densidad del Agua:** Calcular la densidad del agua como sigue:

$$D = \frac{P_1 - P_2}{V}$$

Donde:

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m<sup>3</sup>

P1 = Masa de la fiola y agua, kg

P2 = Masa de la fiola, kg

V = Volumen de la fiola hasta la línea de calibración, m<sup>3</sup>

**Volumen y Factor de recipiente:** Calcular el volumen y factor F del recipiente como sigue:

$$W = \frac{W - M}{D}$$

$$F = \frac{D}{W - M}$$

Donde:

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente, l/m<sup>3</sup>

W = Masa del agua, placa de vidrio y recipiente, kg

M = Masa de placa de vidrio y recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m<sup>3</sup>

**Densidad de masa:** Calcular la densidad de masa como sigue:

$$DM = \frac{(G - T)}{V}$$

$$DM = (G - T) \times F$$

Donde:

DM= Densidad de masa del agregado, kg/m<sup>3</sup>

G = Masa del recipiente y agregado, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente, l/m<sup>3</sup>

**Contenido de Vacíos:** Para determinar el contenido de vacíos se requiere el valor de gravedad específica de masa obtenida de acuerdo a los procedimientos descritos en la NTP 400.021 o NTP 400.022 (ASTM C-127 o C 128) según corresponda y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Vacios} = \frac{\{(S \times W) - M\}}{(S \times W)} \times 100$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m<sup>3</sup>

S = Gravedad específica de masa (NTP 400.021 o NTP 400.022)

W = Densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>

### ➤ Resultados.

Los resultados se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 13:** Resultados de ensayo de masa por unidad de volumen del agregado fino

ITEM	UND	ARENA A	ARENA B	ARENA C
Masa por unidad de volumen en estado seco suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.482	1.476	1.444
Masa por unidad de volumen en estado seco compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.660	1.651	1.576
Vacíos en base al agregado suelo	%	42.783	42.391	43.790
Vacíos en base al agregado compactado	%	35.894	35.579	38.668

Fuente: Elaboración propia



*Imagen N° 22: Ensayo de densidad de masa de la agregado fino  
Fuente: Foto propia*

### 3.2.2. CEMENTO

La guía ACI 523 3R-14, recomienda que el cemento a usarse para la elaboración de Concreto Celular debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C150-2015 (Cemento Portland), pudiéndose usarse también los cementos que cumplan la norma ASTM C595-2009 (cementos hidráulicos con adiciones), o la ASTM C1157-2011 (especificación de desempeño para cemento hidráulico).

En la presente investigación se utilizó cemento TIPO I, que cumple con la norma NTP 334.009-2013 y la ASTM C 150-2015, fabricado por la empresa PACASMAYO S.A.A, es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.



*Imagen N° 23: Cemento Pacasmayo TIPO I  
Fuente: <http://www.cementospacasmayo.com.pe>*

En el anexo IV se muestra el certificado de calidad del Cemento Pacasmayo TIPO I.

### 3.2.3. AGUA

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Para cada cantidad de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable. Los límites permisibles para el agua para concreto se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 14: Límites permisibles para el agua de mezcla**

<b>Descripción</b>	<b>Límite permisible</b>		
<b>Sólidos en suspensión</b>	5000	ppm	Máximo
<b>Materia orgánica</b>	3	ppm	Máximo
<b>Alcalinidad (NaHCO<sub>3</sub>)</b>	1000	ppm	Máximo
<b>Sulfatos (ion SO<sub>4</sub>)</b>	600	ppm	Máximo
<b>Cloruros (ion Cl<sup>-</sup>)</b>	1000	ppm	Máximo
<b>pH</b>	5 a 8	ppm	Máximo

*Fuente: NTP 399.088*

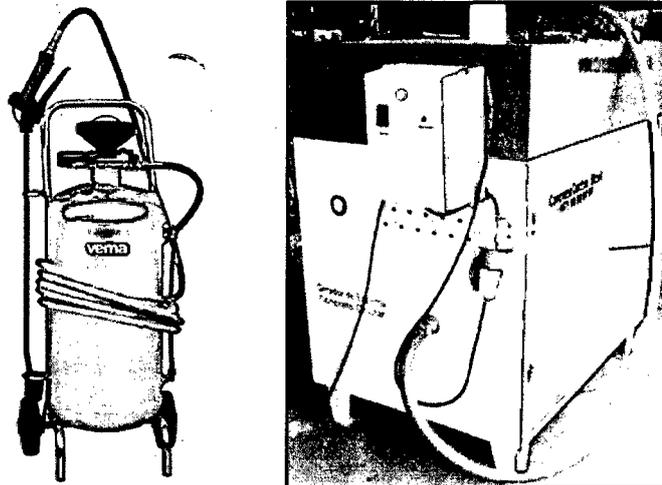
El agua empleada en la preparación y curado de los cubos y bloques de Concreto Celular, fue el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, agua extraída de pozos subterráneos, que cumple con los límites máximos y mínimos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según el DS N9 031-2010-SA; cumpliendo así los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088-2014 en concordancia con la ASTM C 1602-2012.

### 3.2.4. ESPUMA PREFORMADA

La espuma preformada se crea mediante la dilución de una espuma líquida concentrada con agua en proporciones predeterminadas y se hace pasar esta mezcla a través de un generador de espuma. La densidad de la espuma preformada está típicamente entre 2,0 y 5,0 libras / pie<sup>3</sup> (32 y 80 kg / m<sup>3</sup>), no obstante la densidad de la espuma puede variar según la calidad de la espuma líquida, se han obtenido densidades de hasta 95 kg/m<sup>3</sup> con aditivos espumantes de origen proteico producidos por la marca NEOPOR SYSTEM.

El concentrado de espuma debe tener una composición química capaz de producir y mantener células de aire estables que pueden resistir las fuerzas físicas y las interacciones químicas impuesta durante el mezclado, bombeo, y el establecimiento de concreto dentro de la mezcladora de concreto. Si la estructura (de células de aire) celular es inestable, podría descomponerse durante estos pasos, resultando en un aumento de la densidad del concreto. La dosificación para obtener la espuma debe ser la óptima, ya que con pequeñas cantidades de agua la espuma crece poco y se desperdicia el aditivo espumante, y con exceso de agua se produce espuma abundante pero de consistencia débil y poco estable.

Para producir la espuma se necesita de un generador de espuma (ver Imagen N° 24), los generadores de espuma son de muchas formas y tamaños, esto de acuerdo al fabricante, el equipo con la ayuda de un compresor de aire inyecta aire a presión en su interior haciendo que la mezcla interactúe con el aire comprimido, produciendo así la espuma, la densidad de la espuma variará según la presión de aire que se inyecta.

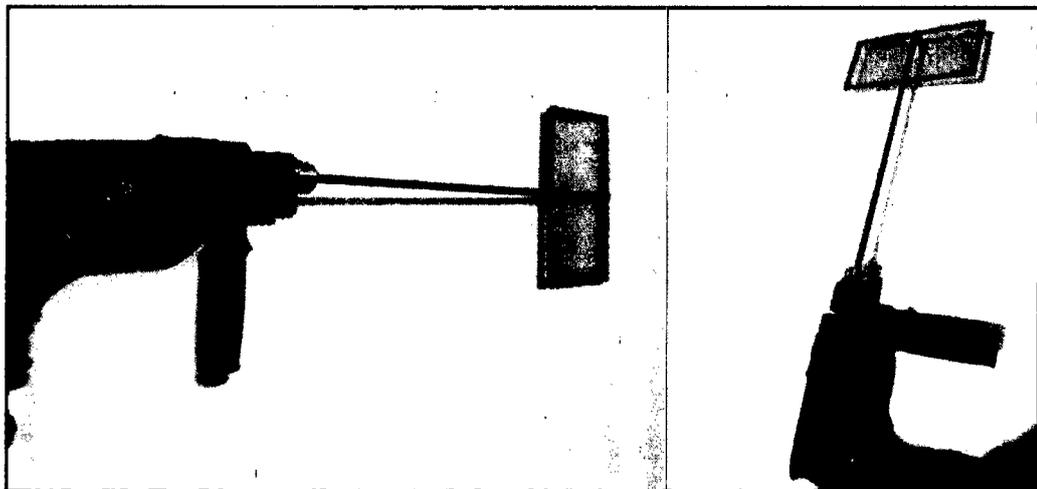


**Imagen N° 24:** Generadores de espuma

**Fuente:** <http://www.concretoscelulares.com.br/EQUIPAMENTOS>.

Para la presente investigación se ha utilizado el aditivo espumante ADIKRETE de origen sintético, producido por la empresa argentina POKRETE ARGENTINA S.A., y siguiendo recomendaciones del fabricante se ha optado por una dosificación de 1:40 (aditivo espumante: agua), dosificación que mejores resultados mostró en cuanto a consistencia, apariencia y densidad.

Para generar la espuma se ha optado por un procedimiento alternativo en el cual se obvia el generador de espuma, este procedimiento es muy sencillo y consiste en generar la espuma mediante agitación mecánica producida por una paleta giratoria conectada a un taladro (ver Imagen N° 25), la paleta gira a 2700 rpm aproximadamente y logra la mezcla del agua con el aditivo espumante y da lugar a la formación de la espuma.



*Imagen N° 25: Dispositivo para generar espuma  
Fuente: Foto propia*

#### **3.2.4.1. Características de la espuma**

En los aspectos de espumas existe una relación directa entre la densidad y resistencia a la compresión, es por ello que es muy importante determinar con precisión cuál es la densidad de la espuma de modo que se obtengan mejores resultados en la elaboración de Concreto Celular.

La norma internacional **ASTM C796-2012** y **C869-2011** contienen procedimientos para evaluar concentrados de espuma utilizados para producir espuma preformada.

## **a. Densidad de la espuma**

De acuerdo a la información referente a la dosificación proporcionada por el fabricante, se experimentó con una relación 1:40 para determinar la densidad de la espuma. El concepto para los experimentos sobre la propia espuma era trabajar con una constante de agua y ejecutar una serie de prueba en cuanto al tiempo de agitación mecánica con la paleta giratoria conectada al taladro.

Se experimentó inicialmente con un tiempo de 30 segundos de mezcla con el dispositivo generador de espuma, luego con 60 segundos y finalmente con 90 segundos, los mejores resultados se obtuvieron con un tiempo de mezcla de 60 segundos.

Los aparatos y/o equipos utilizados para llevar a cabo este ensayo se detallan a continuación.

### **➤ Aparatos**

- ✓ **Taladro:** Con una potencia de 650 W y de 2700 rpm con la fuerza necesaria para hacer girar la paleta.
- ✓ **Paleta giratoria:** Aparato acondicionado para mezclar el espuma líquida con el agua, hecha de una varilla lisa de 3/8 x 40 cm, con una sección rectangular metálica de 20 x 10 cm en uno de sus extremos, cubierta con una malla de 3 mm.
- ✓ **Recipiente:** Un recipiente cilíndrico de metal. Será hermético a prueba de agua, con bordes superior e inferior firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso. El recipiente tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura de menos del 80% ni más del 150% del diámetro.
- ✓ **Balanza:** Una balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.01 kg.
- ✓ **Balde:** Un depósito plástico de capacidad de 20 lt para producir la espuma en su interior.

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Inicialmente se calibró el recipiente o molde cilíndrico de metal, se determinó la masa de la placa de vidrio y del recipiente con exactitud de 0.1 kg, se colocó una capa de grasa en el borde del recipiente para evitar fugas de agua, luego se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió el mismo con la placa de vidrio tratando de eliminar todas las burbujas y el exceso de agua, finalmente se determinó la masa de la placa de vidrio más el recipiente lleno de agua, con exactitud de 0.1 kg, luego de realizar todo el procedimiento se calcula el volumen del recipiente y/o el factor F del molde mediante las fórmulas que se verán líneas adelante.
- ✓ Se pesó 50 gr de espuma líquida y 2000 gr de agua y se los vertió en un balde de 20 lt. , luego se mezcló la espuma líquida con el agua con ayuda de la paleta giratoria por un periodo de  $60 \pm 05$  segundos para formar la espuma y alcanzar la consistencia deseada.
- ✓ Se llenó el recipiente cilíndrico metálico con espuma preformada hasta rebosar y se nivela con ayuda de una regla metálica, de modo que la espuma quede solo a nivel de los bordes del recipiente, luego se pesó el recipiente lleno de espuma. Se procedió a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes).

➤ **Cálculos:**

La densidad de la espuma se calcula de acuerdo a la norma ASTM C 796, mediante las siguientes ecuaciones:

$$W_{uf} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

$$W_{uf} = (W_2 - W_1) \times F$$

Donde:

$W_{uf}$  = Densidad de la espuma, kg/m<sup>3</sup>

$W_2$  = Masa del recipiente con espuma, kg

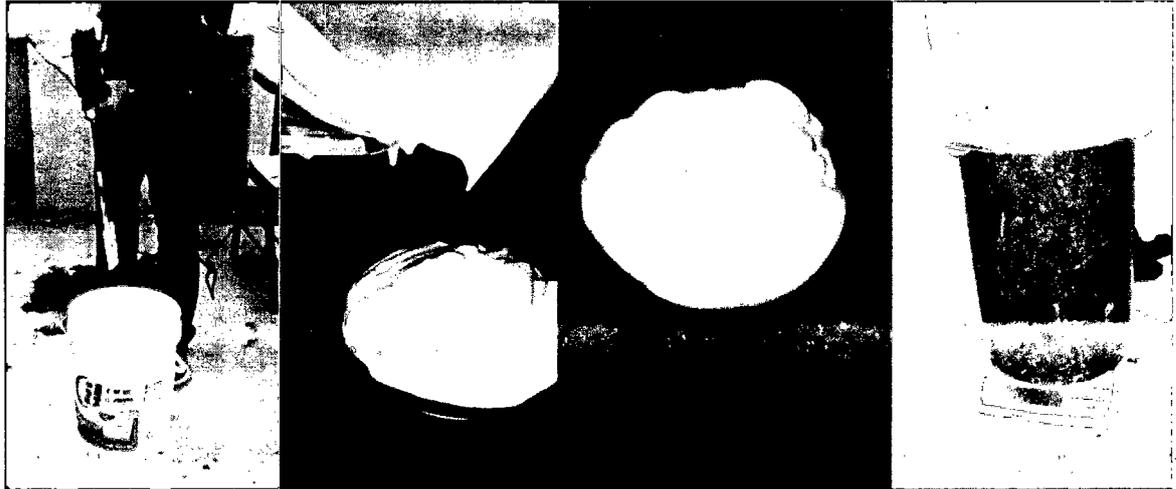
$W_1$  = Masa del recipiente, kg

$V$  = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

$F$  = Factor para el recipiente, l/m<sup>3</sup>

## ➤ Resultados.

La densidad de la espuma que se obtuvo luego de realizar los tres ensayos fue de 82.13 kg/m<sup>3</sup>, densidad que cumple con los requisitos establecidos por la ASTM C 796.



*Imagen N° 26: Ensayo de densidad de espuma  
Fuente: Foto propia*

### 3.2.5. ADITIVOS

Los aditivos son químicos que se agregan al concreto en la etapa de mezclado para modificar algunas de las propiedades de la mezcla que nunca deben ser considerados un sustituto de un buen diseño de mezcla, de buena mano de obra o del uso de buenos materiales.

#### 3.2.5.1. Clasificación

La clasificación de los aditivos químicos reductores de agua y controladores de fragua según la norma ASTM C 494-2005 es la siguiente:

- ✓ Tipo A: Reductor de agua
- ✓ Tipo B: Retardante de fraguado.
- ✓ Tipo C: Acelerante de fraguado
- ✓ Tipo D: Reductor de agua y retardante
- ✓ Tipo E: Reductor de agua y acelerante.
- ✓ Tipo F: Reductor de agua de alto rango

- ✓ **Tipo G:** Reductor de agua de alto rango y retardante

### **3.2.5.2. Uso de los aditivos**

Las razones más comunes para usar aditivos en el concreto son:

- ✓ Incrementar la trabajabilidad, sin cambiar el contenido de agua.
- ✓ Reducir el contenido de agua, sin cambiar la trabajabilidad.
- ✓ Así mismo, efectuar una combinación de lo anterior.
- ✓ Ajustar el tiempo de fraguado.
- ✓ Además, reducir la segregación y/o el sangrado.
- ✓ Mejorar la bombeabilidad.
- ✓ Acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- ✓ Incrementar la resistencia.
- ✓ Mejorar la durabilidad potencial y reducir la permeabilidad.

### **3.2.5.3. Dosificación**

La dosificación usualmente viene dada por la cantidad de cemento utilizado en la mezcla, puesto que su función principal es actuar sobre aquél. Es preferible seguir las especificaciones dados por los distribuidores y/o fabricantes, o a su vez seguir las normas ASTM o su equivalente la NTP 339.086 o la NTP 339.087, para la utilización de los aditivos.

### **3.2.5.4. Aditivo empleado**

El aditivo empleado para mejorar las propiedades del Concreto Celular en la presente investigación es el **Sikament® – 290N**, el cual es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada. Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G. La dosificación utilizada fue de 0.8% en peso del cemento.

#### **➤ Características**

- ✓ Aumento de las resistencias mecánicas.

- ✓ Terminación superficial de alta calidad.
- ✓ Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- ✓ Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- ✓ Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejas.

➤ **Datos técnicos**

- ✓ Densidad de 1.20kg/L +/- 0.02
- ✓ Aspecto líquido y de color marrón oscuro

➤ **Dosis y aplicación**

- ✓ **Como plastificante:** del 0,3 % – 0,7 % del peso del cemento, debe incorporarse junto con el agua de amasado.
- ✓ **Como superplastificante:** del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento, debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m<sup>3</sup> de carga de la amasadora o camión concretero.



*Imagen N° 27: Aditivo Sikament®-290N, empleado en la elaboración del Concreto Celular  
Fuente: Foto propia*

### 3.2.6. FIBRAS

El uso de fibras se hizo imprescindible en el Concreto Celular, ya que las deficiencias de una mezcla fluida, se ven afectadas por el secado o una deshidratación rápida, lo que ocasiona contracciones, sin embargo, estas contracciones son controladas gracias

al uso de la fibra de polipropileno, la fibra ayuda a controlar esos movimientos y a controlar las grietas por golpes.

### **3.2.6.1. Clasificación de las fibras**

Existen varios tipos de fibras como son: fibras de vidrio, fibras de acero y fibras sintéticas.

#### **➤ Fibras de acero**

La forma de las fibras influye en las características adherentes de la fibra con el hormigón. Las dimensiones de la fibra está en función del tamaño del árido mayor y del diámetro de la tubería de bombeo, sin embargo debe ser suficiente para una buena adherencia y evitar arrancamientos con demasiada facilidad. El empleo de fibras más delgadas hace que se reduzca el espaciamiento entre ellas, siendo más eficiente y mejorando su resistencia.

#### **➤ Fibras sintéticas**

Las fibras sintéticas pueden ser: microfibras desarrolladas especialmente para evitar las fisuras de retracción del hormigón, o macrofibras que colaboran estructuralmente, siendo su longitud variable la misma que tiene relación con el tamaño máximo del árido. Se caracterizan por su bajo peso específico y costo.

#### **➤ Fibras de vidrio**

Este tipo de fibras se deben usar siempre que se garantice un comportamiento adecuado sobre la vida útil del elemento estructural. Se puede experimentar reducciones de resistencia y tenacidad, debido al deterioro de las fibras como consecuencia de la alcalinidad del medio.

### **3.2.6.2. Fibra empleada**

La fibra empleada para mejorar las propiedades del Concreto Celular en la presente investigación es la fibra de polipropileno **Sikafiber® Pe**, la cual cumple con la Norma ASTM C 1116-2010. La dosificación utilizada fue de 500gr por m<sup>3</sup>.

#### **➤ Características**

- ✓ Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.

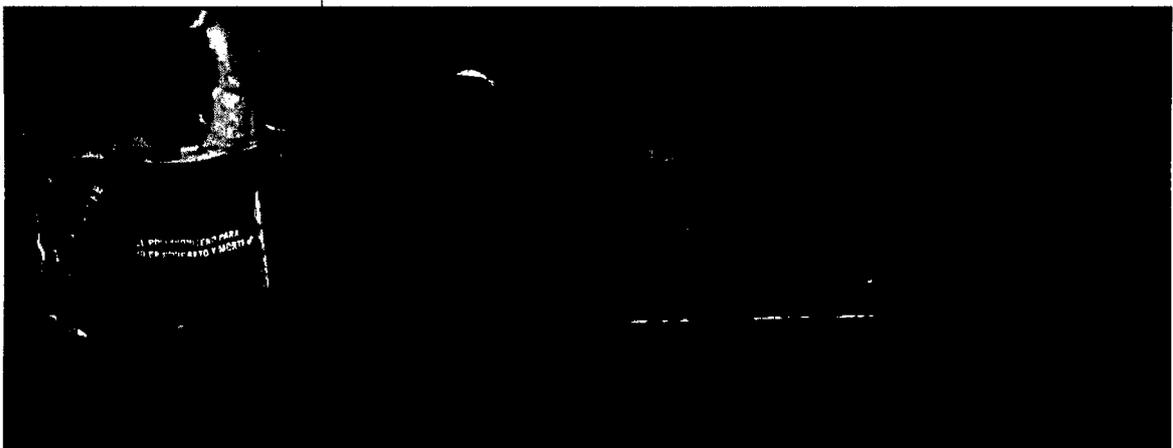
- ✓ Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- ✓ La acción del Sikafiber PE es de tipo físico y no afecta el proceso de Hidratación del cemento.
- ✓ En mayor cuantía mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.

#### ➤ Datos técnicos

- ✓ Densidad de 0.91 kg/L.
- ✓ Fibra de polipropileno de color crema.
- ✓ Absorción de agua: Ninguna.
- ✓ Módulo de elasticidad: 15000 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Alargamiento de rotura: 20-30%.
- ✓ Resistencia a tracción: 300-350kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Longitud: 19 mm.

#### ➤ Dosis y aplicación

- ✓ Sikafiber® PE se empleará para todo tipo de concretos hasta  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$  se debe usar 600 gr por m<sup>3</sup> de concreto y para concretos de alta resistencia mayores a  $f'c = 300 \text{ kg/m}^2$  se colocará 1 kg/m<sup>3</sup>. Usar de 2 a 8 Kg. En caso de mezcla de shotcrete
- ✓ No disolver en el agua de amasado. Una vez añadido el Sikafiber® PE basta con prolongar el mezclado al menos 5 minutos.



*Imagen N° 28: Fibra de polipropileno empleada en la elaboración del Concreto Celular  
Fuente: Foto propia*

### 3.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CELULAR

En la actualidad, no existe un método específico de dosificación para el Concreto Celular, los métodos que se utilizan para morteros y concretos convencionales no son apropiados, sin embargo, la guía ACI 523.3R-14, considera que los concretos celulares deben ser tratados como concretos elaborados con agregados pétreos, ya que algunas de las características estructurales son las mismas. Las propiedades en algunos casos, son también función del esfuerzo a la compresión, además, la relación entre el esfuerzo a la compresión y las propiedades de fuerza y rigidez del Concreto Celular, son en general, las mismas que las de un concreto convencional.

#### 3.3.1. DATOS PRELIMINARES

##### 3.3.1.1. Características de los materiales

###### a) Agregado fino

Las características del agregado fino empleado en el diseño fueron calculadas mediante los procedimientos descritos anteriormente, los resultados influyentes en este estudio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 15: Propiedades del agregado fino utilizado

Propiedades del agregado fino	Cantera "La Victoria"			
	Und.	Arena A*	Arena B**	Arena C***
Densidad Relativa (Gravedad Específica) (OD)	gr/cm <sup>3</sup>	2.601	2.574	2.581
Absorción	%	1.235	1.516	1.235
Masa por unidad de volumen seco suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.482	1.476	1.444
Masa por unidad de volumen seco compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.660	1.651	1.576

Fuente: Elaboración propia

\*Arena A: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Celular con densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

\*\*Arena B: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Celular con densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>.

\*\*\*Arena C: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Celular con densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup>.

###### b) Cemento:

El cemento utilizado fue el Cemento Pacasmayo Tipo I, producido por la empresa CEMENTOS PACASMAYO S.A.A., es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.

➤ **Densidad:** 3.12 gr/cm<sup>3</sup>

### **c) Agua:**

El agua empleada en la preparación de la mezcla de Concreto Celular, fue el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, agua extraída de pozos subterráneos, cumple con los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088.

- **Densidad:** 999.7 kg/m<sup>3</sup>

### **d) Espuma:**

El aditivo utilizado para generar la espuma es el aditivo espumante ADIKRETE de origen sintético, producido por la empresa argentina POKRETE ARGENTINA S.A., la espuma preformada ha sido evaluada según la norma ASTM C 796 y C869.

- **Rendimiento:** 0.95
- **Densidad:** 82.13 kg/m<sup>3</sup>

## **3.3.2. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA**

El método que se utiliza para el diseño de la mezcla de Concreto Celular es el método dado por la guía del ACI 523 3R-14. Las proporciones de la mezcla, inicia con la selección del peso por unidad de volumen del hormigón fresco (densidad), la resistencia a compresión deseada y la relación agua cemento.

Si bien es una guía clara y fácil de manejar, los fabricantes de concretos celulares y de aditivos espumantes simplifican y proporcionan tablas con diversos tipos de dosificaciones, partiendo del peso por unidad de volumen, densidad, y las proporciones en peso tanto del cemento, el agua y la arena, mientras que la cantidad de espuma necesaria es medida en volumen.

Se diseñará la mezcla de Concreto Celular para una densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup>, cabe mencionar que los pasos de diseño son los mismos para las densidades de 1200 y 1400 kg/m<sup>3</sup>, elaborados en este estudio.

De acuerdo con las especificaciones de la guía ACI 523 3R, se procede al diseño del Concreto Celular:

Se desea elaborar un m<sup>3</sup> de Concreto Celular que tenga un peso unitario en estado fresco de 1120 Kg/m<sup>3</sup> para obtener un peso unitario endurecido de 1000 Kg/m<sup>3</sup>. Las propiedades de los materiales son las siguientes:

- ✓ Rendimiento de la espuma (R): 0.95
- ✓ Densidad de la espuma ( $\gamma_e$ ): 82.13 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ Peso específico del cemento (Pec): 3.12 gr/cm<sup>3</sup>
- ✓ Gravedad específica de la arena (OD): 2.60 gr/cm<sup>3</sup>
- ✓ Contenido de humedad de la arena (W): 2%
- ✓ Absorción de la arena (A): 1.24%
- ✓ Densidad del agua ( $\gamma_w$ ): 999.7 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ Densidad aditivo 01: 1.20 kg/lt
- ✓ Densidad fibra 01 : 0.91 kg/lt

a) Calculamos la fuerza a compresión deseada usando la siguiente ecuación:

$$f'c = 0.34e^{0.0022\gamma_s}$$

Donde

$\gamma_s$  = *Peso unitario en estado endurecido del concreto celular*

Reemplazando valores obtenemos:

$$f'c = 0.34e^{0.0022 \times 1000} = 3.068 \text{ Mpa (31.15 kg/cm}^2\text{)}$$

b) Asumimos la relación a/c=0.50 ( de un rango de 0.45-0.60, según el ACI 523 3R)

c) Calculamos la relación ar/c (arena/cemento) usando la siguiente ecuación:

$$\frac{ar}{c} = \frac{\gamma_f - 673}{345}$$

Donde

$\gamma_f$  = *Peso unitario en estado fresco del concreto celular*

Reemplazando valores obtenemos:

$$\frac{s}{c} = \frac{1120 - 673}{345} = 1.30$$

d) Calculamos la peso unitario en estado endurecido del Concreto Celular usando la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \gamma_f - 122$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$\gamma_s = 1120 - 122 = 998 \text{ kg/m}^3$$

e) Calculamos el contenido de cemento usando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\gamma_f}{1 + a/c + s/c}$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$C = \frac{1120}{1 + 0.50 + 1.30} = 400.622 \text{ kg}$$

f) Calculamos la cantidad de arena:

$$\frac{Ar}{C} = 1.30$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$Ar = 1.30 * 400.622 = 519.067 \text{ kg/m}^3$$

g) Calculamos la cantidad de agua de diseño:

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

$$A = 0.50 * 400.622 = 200.311 \text{ kg/m}^3$$

h) Calculamos el volumen absoluto de los sólidos (cemento, arena y agua)

$$V_A = \frac{C}{G_c \times \gamma_w} + \frac{A}{\gamma_w} + \frac{Ar}{OD \times \gamma_w}$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$V_A = \frac{400.622}{3.12 \times 1000} + \frac{200.311}{999.7} + \frac{519.067}{2.60 \times 1000}$$

$$V_A = 0.528317 \text{ m}^3$$

i) Calculamos la cantidad de aditivo y fibra

$$\text{Aditivo} = 0.008 * 400.622 = 3.205 \text{ kg}$$

$$\text{Fibra} = 0.5 \text{ kg}$$

j) Calculamos los volúmenes absolutos de aditivo y fibra

$$V_{Aditivo} = \frac{3.205}{1.20 \times 1000} = 0.002671 \text{ m}^3$$

$$V_{fibra} = \frac{0.5}{0.91 \times 1000} = 0.000549 \text{ m}^3$$

k) Calculamos el volumen total de materiales

$$V_t = 0.528 + 0.002671 + 0.000549$$

$$V_t = 0.531537 \text{ m}^3$$

l) Calculamos volumen de aire requerido por unidad de volumen de concreto

$$A_v = 1 - 0.531537 = 0.468 \text{ m}^3$$

m) Calculamos volumen de espuma requerida:

$$V_F = \frac{A_v}{R}$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$V_F = \frac{0.468}{0.95} = 0.493 \text{ m}^3$$

n) Calculamos el peso de la espuma requerida:

$$F = V_F * \gamma_e$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$F = 0.493 * 82.13 = 40.499 \text{ kg/m}^3$$

o) Ajustamos la cantidad de agua de diseño debido al agua en la espuma y agua en la arena:

#### Agua en la espuma

$$A_e = 82.13 * 0.493 = 40.499 \text{ kg/m}^3$$

#### Agua en la arena

$$A_a = A_r * \left( \frac{W - A}{100} \right)$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$A_a = 519.067 * \left( \frac{2.00 - 1.24}{100} \right) = 3.970 \text{ kg/m}^3$$

### Agua final de mezcla

$$A_m = A - A_e - A_a$$

Remplazando valores obtenemos:

$$A_m = 200.311 - 40.499 - 3.97 = 155.841 \text{ kg/m}^3$$

p) Cantidad correcta de arena:

$$S_c = S + A_e$$

Remplazando valores obtenemos:

$$S_c = 519.067 + 3.97 = 523.037 \text{ kg/m}^3$$

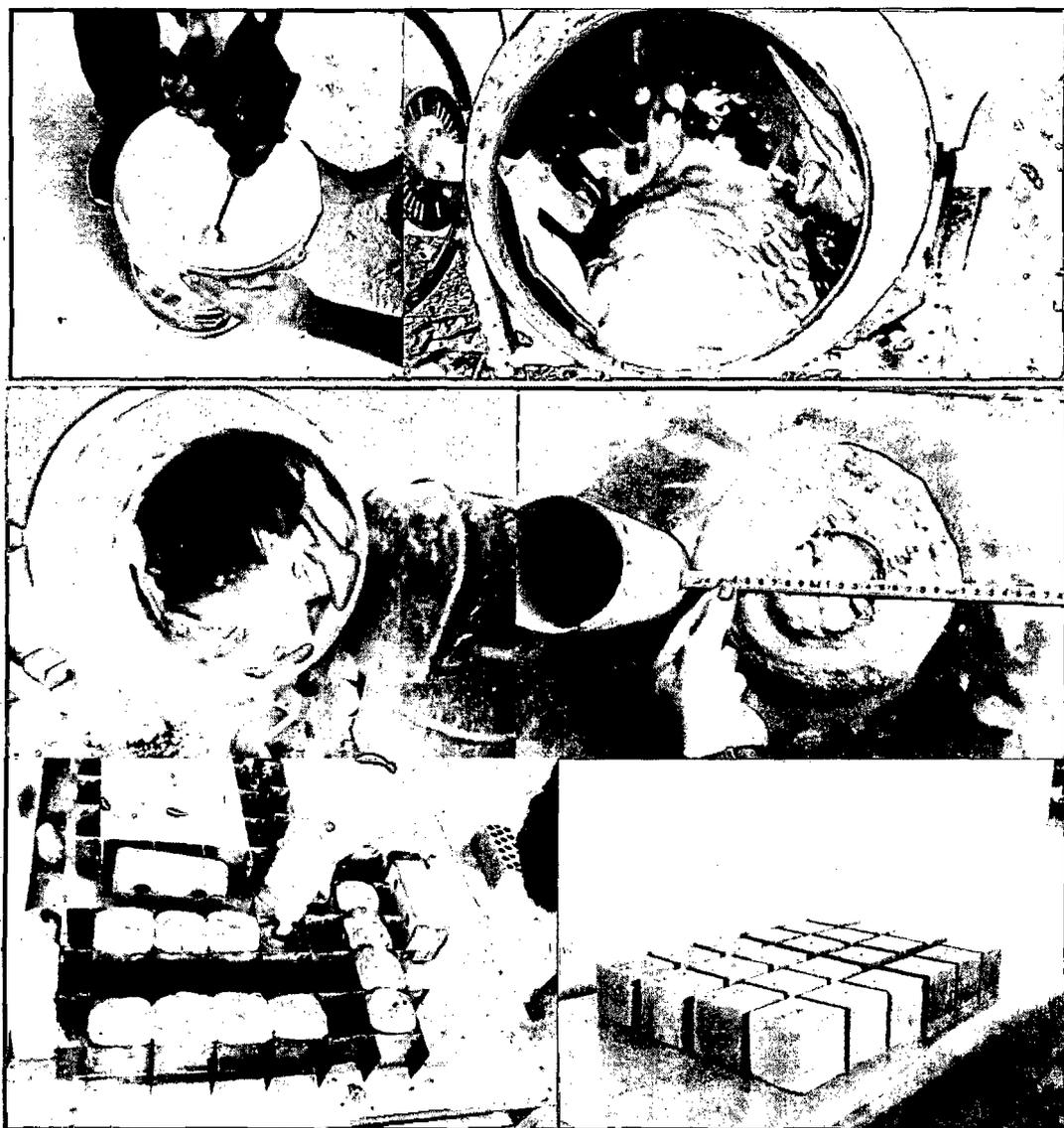
q) Las proporciones de la mezcla por metro cubico ajustada son las siguientes:

Cemento:	400.62 kg/m <sup>3</sup>
Agua:	155.841 kg/m <sup>3</sup>
Arena:	523.037 kg/m <sup>3</sup>
Espuma:	40.499 kg/m <sup>3</sup>
Aditivo 01:	3.205 lt/m <sup>3</sup>
Fibra 01:	0.50 kg/m <sup>3</sup>

### **3.3.3. PROCESO DE ELABORACIÓN**

- ✓ Una vez definida la cantidad de materiales de acuerdo al diseño, se procede a pesar todos los materiales necesarios para la tanda de diseño, a excepción de la espuma que se añade luego de agregar el agua, la arena y los aditivos si es el caso.
- ✓ Se agrega a la mezcladora inicialmente una porción del agua de mezclado, luego se agrega la arena, seguido por el cemento y finalmente se agrega la cantidad de agua restante, todo esto en aproximadamente 60 segundos. Se agregan todos los ingredientes excepto la espuma preformada que se añade último.
- ✓ Se mezcla el mortero hasta obtener una consistencia uniforme, es decir que no contenga grumos, este procedimiento debe realizarse aproximadamente en 90 segundos, si luego de este tiempo aún no se logra la consistencia deseada alargar el tiempo en 30 segundos más.

- ✓ Se detiene la mezcladora y se procede a elaborar la espuma, esto en no más de 90 segundos y se pesa la cantidad de espuma requerida.
- ✓ Se enciende la mezcladora y se añade la cantidad de espuma requerida, se deja mezclar hasta que la mezcla este uniforme, normalmente el tiempo que demora la mezcla en uniformizar es de 60 a 90 segundos, esto depende de que se haya alcanzado ya la densidad deseada.
- ✓ Se verifica la densidad del Concreto Celular, para ello toma un recipiente de 1 litro y se llena de mezcla hasta el nivel, si el peso de la mezcla es de 1.12 kg, se tendrá una densidad de 1120 kg/m<sup>3</sup>.
- ✓ Una vez que se obtiene la densidad deseada se procede a realizar el ensayo de fluidez de acuerdo a la norma ASTM D 1603.
- ✓ Se procede a vaciar la mezcla en los moldes metálicos de forma cubica de 100x100x100mm para posteriores ensayos.
- ✓ En caso de utilizar fibras y/o aditivos, su dosificación será de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante, para el caso de la adición de fibra de polipropileno se añadieron después de la arena y luego se mezclaron con el cemento durante 90 segundos, para el caso de la adición de aditivo plastificante se añadió junto con el agua de mezclado.



*Imagen N° 29: Proceso de elaboración del Concreto Celular  
Fuente: Fotografías propias*

### 3.3.4. RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN

#### 3.3.4.1. Densidad aparente 1000 [kg/m<sup>3</sup>]

##### a. Dosificación EAF-1.0

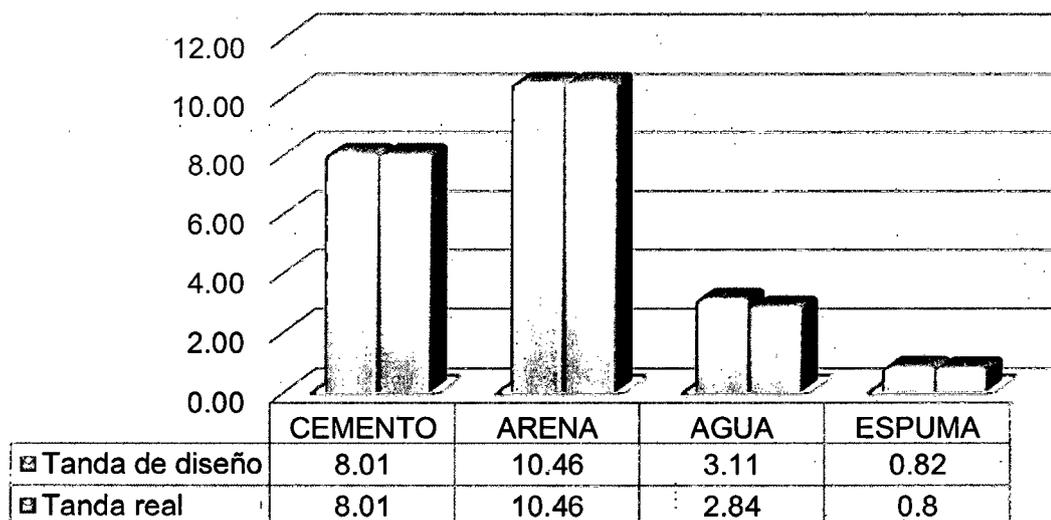
Para llegar a la densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup> se redujo en un 8.71. % la cantidad de agua debido a la presencia del aditivo plastificante y se redujo en 1.92% la cantidad de espuma.

Tabla N° 16: Dosificación del Concreto Celular EAF-1.0

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	400.62	8.01	8.01
ARENA	kg	523.04	10.46	10.46
AGUA	lt	155.56	3.11	2.84
ESPUMA	kg	40.78	0.82	0.8
FIBRA	gr	500.00	10.00	10.0
ADITIVO	gr	3204.98	64.10	64.10
A/C SIN ESPUMA		0.388	0.388	0.354
A/C CON ESPUMA		0.490	0.490	0.454

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 1: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EAF-1.0)



Fuente: Elaboración propia

## b. Dosificación EA-1.0

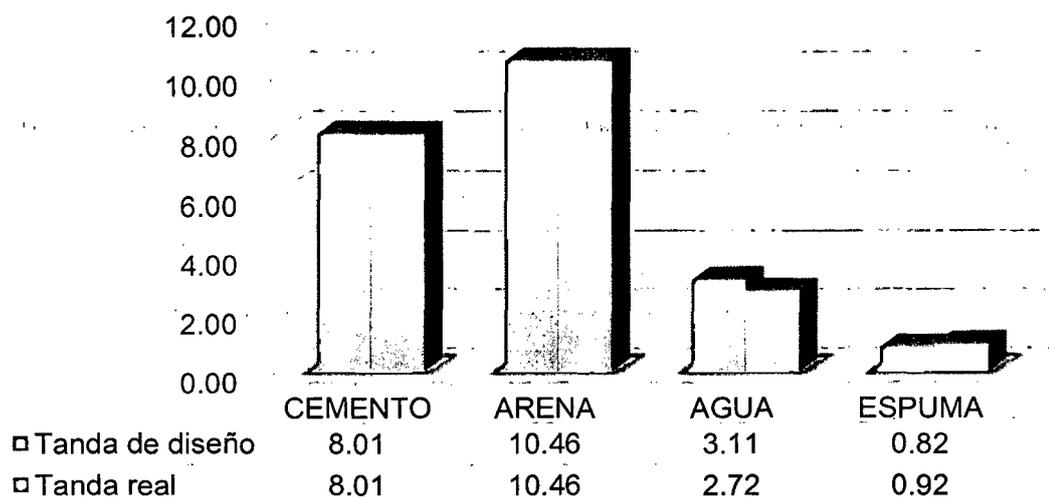
Para llegar a la densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup> se redujo en un 12.57 % la cantidad de agua debido a la presencia del aditivo plastificante y se incrementó en 12.78% la cantidad de espuma.

**Tabla N° 17:** Dosificación del Concreto Celular EA-1.0

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	400.62	8.01	8.01
ARENA	kg	523.04	10.46	10.46
AGUA	lt	155.56	3.11	2.72
ESPUMA	kg	40.78	0.82	0.92
FIBRA	gr	-	-	-
ADITIVO	gr	3204.98	64.10	64.1
A/C SIN ESPUMA		0.388	0.388	0.340
A/C CON ESPUMA		0.490	0.490	0.454

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 2:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (EA-1.0)



*Fuente: Elaboración propia*

**c. Dosificación EF-1.0**

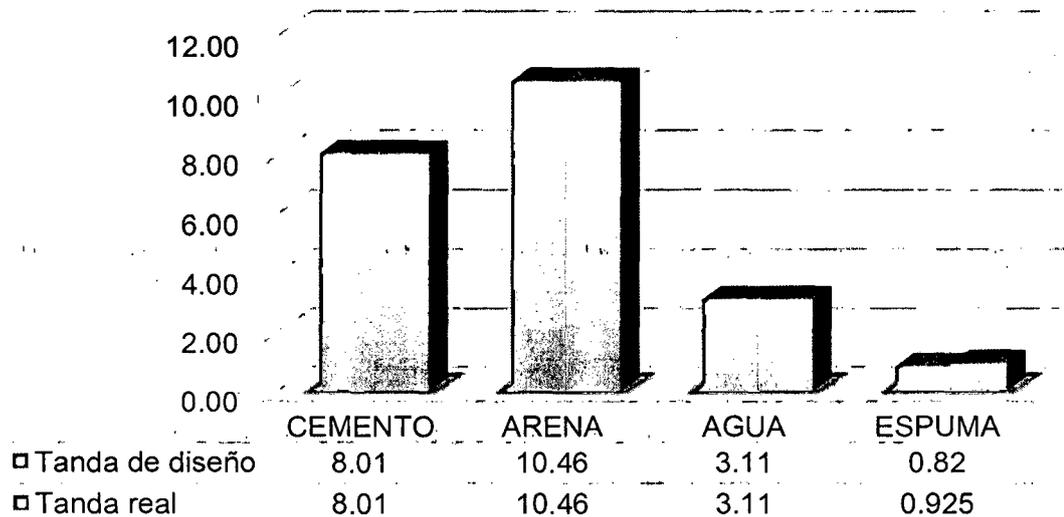
Para llegar a la densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup> se mantuvo constante la cantidad de agua y se incrementó en 13.40% la cantidad de espuma.

**Tabla N° 18:** Dosificación del Concreto Celular EF-1.0

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	400.62	8.01	8.01
ARENA	kg	523.04	10.46	10.46
AGUA	lt	155.56	3.11	3.11
ESPUMA	kg	40.78	0.82	0.925
FIBRA	gr	500.00	10.00	10.0
ADITIVO	gr	-	-	-
A/C SIN ESPUMA		0.388	0.388	0.388
A/C CON ESPUMA		0.490	0.490	0.504

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 3:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (EF-1.0)



*Fuente: Elaboración propia*

#### d. Dosificación E-1.0

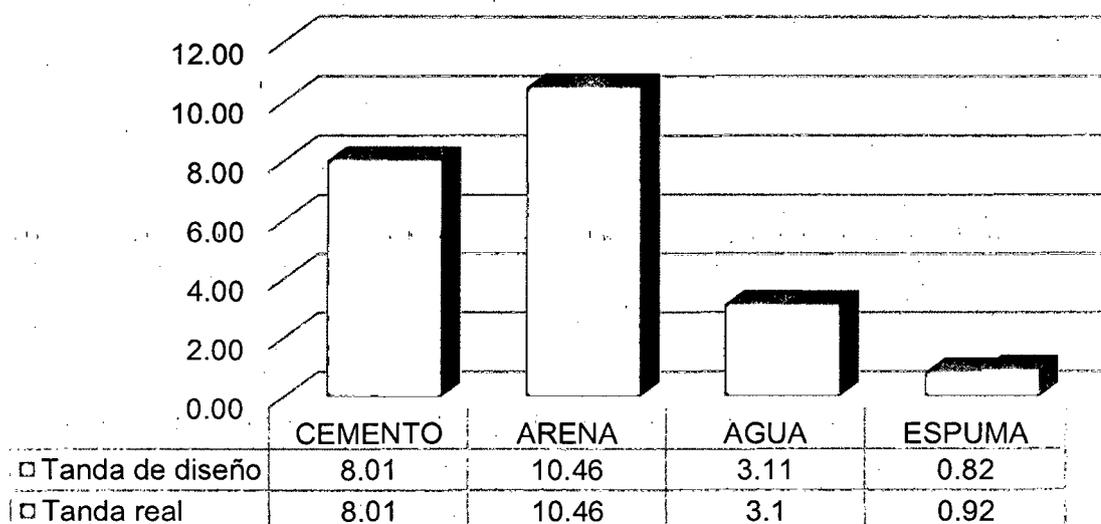
Para llegar a la densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup> se mantuvo constante la cantidad de agua y se incrementó en 12.78% la cantidad de espuma.

**Tabla N° 19:** Dosificación del Concreto Celular E-1.0

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	400.62	8.01	8.01
ARENA	kg	523.04	10.46	10.46
AGUA	lt	155.56	3.11	3.11
ESPUMA	kg	40.78	0.82	0.92
FIBRA	gr	-	-	-
ADITIVO	gr	-	-	-
A/C SIN ESPUMA		0.388	0.388	0.387
A/C CON ESPUMA		0.490	0.490	0.502

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 4:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (E-1.0)



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.4.2. Densidad aparente 1200 [kg/m<sup>3</sup>]

#### a. Dosificación EAF-1.2

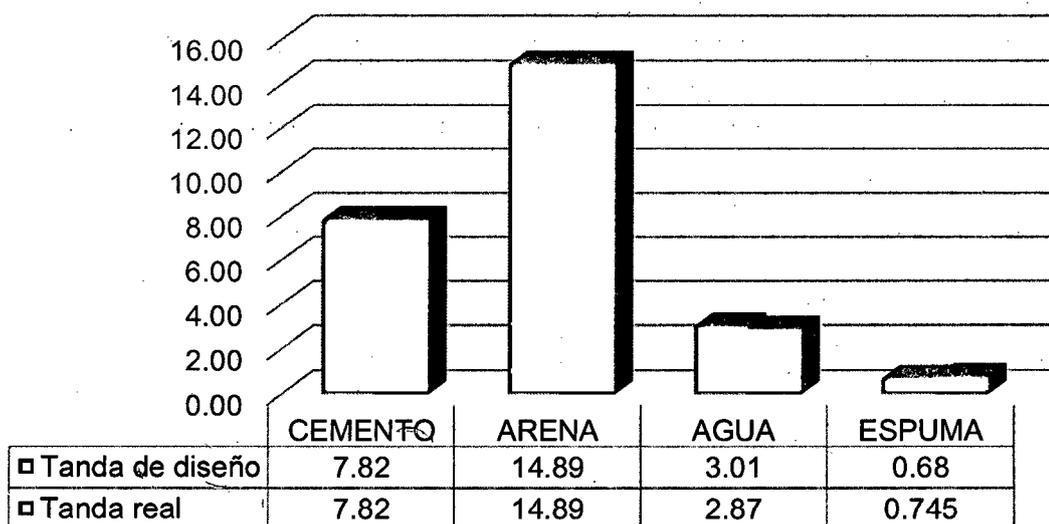
Para llegar a la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup> se redujo en un 4.69 % la cantidad de agua debido a la presencia del aditivo plastificante y se incrementó en 9.30% la cantidad de espuma.

**Tabla N° 20:** Dosificación del Concreto Celular EAF-1.2

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	391.07	7.82	7.82
ARENA	kg	744.28	14.89	14.89
AGUA	lt	150.57	3.01	2.87
ESPUMA	kg	34.08	0.68	0.745
FIBRA	gr	500.00	10.00	10.00
ADITIVO	gr	3128.55	62.57	62.57
A/C SIN ESPUMA		0.385	0.385	0.367
A/C CON ESPUMA		0.472	0.472	0.462

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 5:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (EAF-1.2)



*Fuente: Elaboración propia*

## b. Dosificación EA-1.2

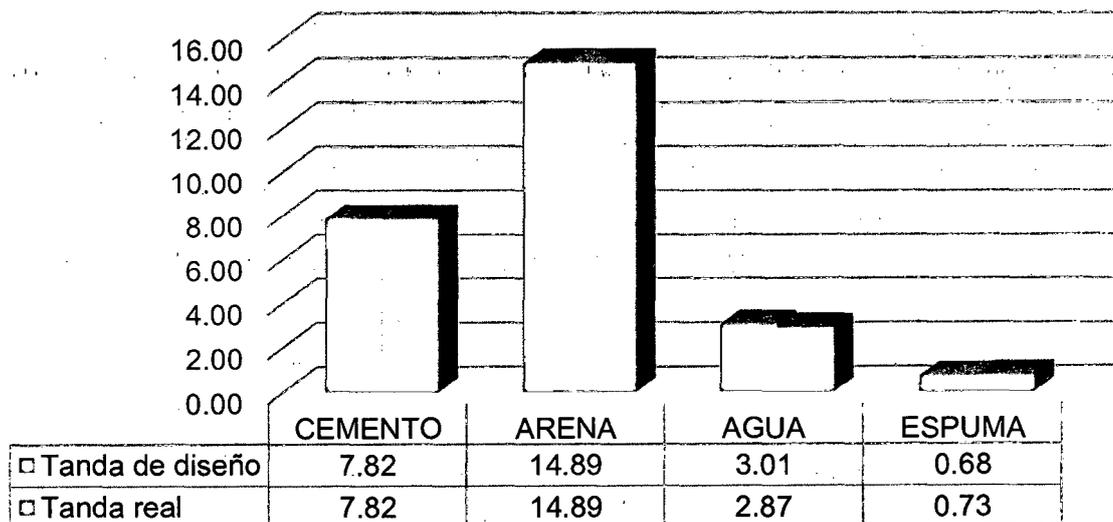
Para llegar a la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup> se redujo en un 4.69 % la cantidad de agua debido a la presencia del aditivo plastificante y se incrementó en 7.10% la cantidad de espuma.

Tabla N° 21: Dosificación del Concreto Celular EA-1.2

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	391.07	7.82	7.82
ARENA	kg	744.28	14.89	14.89
AGUA	lt	150.57	3.01	2.87
ESPUMA	kg	34.08	0.68	0.73
FIBRA	gr	-	-	-
ADITIVO	gr	3128.55	62.57	62.57
A/C SIN ESPUMA		0.385	0.385	0.367
A/C CON ESPUMA		0.472	0.472	0.460

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 6: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EA-1.2)



Fuente: Elaboración propia

### c. Dosificación EF-1.2

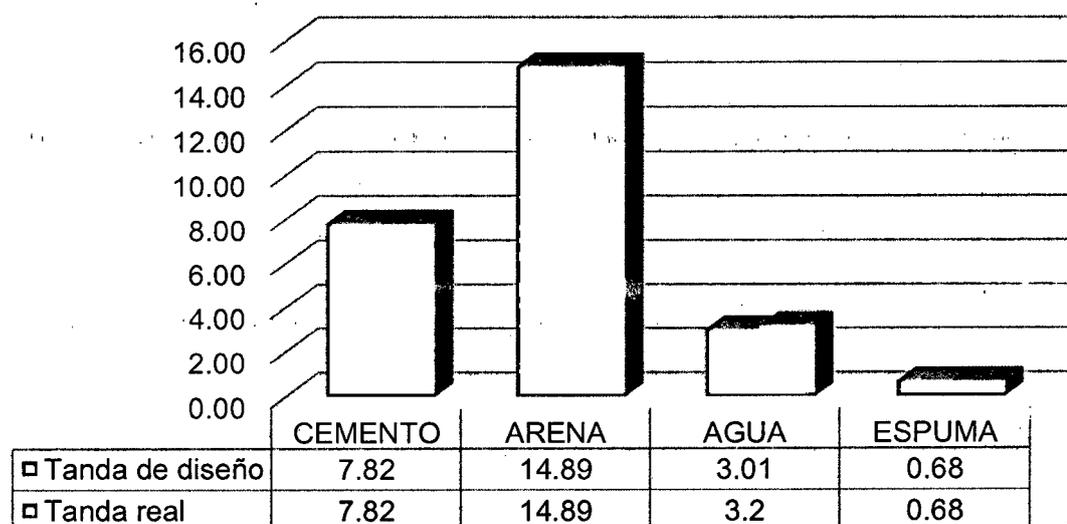
Para llegar a la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup> se incrementó en un 6.26 % la cantidad de agua para una buena cohesión y trabajabilidad, se mantuvo constante la cantidad de espuma.

**Tabla N° 22:** Dosificación del Concreto Celular EF-1.2

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	391.07	7.82	7.82
ARENA	kg	744.28	14.89	14.89
AGUA	lt	150.57	3.01	3.2
ESPUMA	kg	34.08	0.68	0.68
FIBRA	gr	500.00	10.00	10.0
ADITIVO	gr	-	-	-
A/C SIN ESPUMA		0.385	0.385	0.409
A/C CON ESPUMA		0.472	0.472	0.496

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico N° 7:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (EF-1.2)



*Fuente: Elaboración propia*

#### d. Dosificación E-1.2

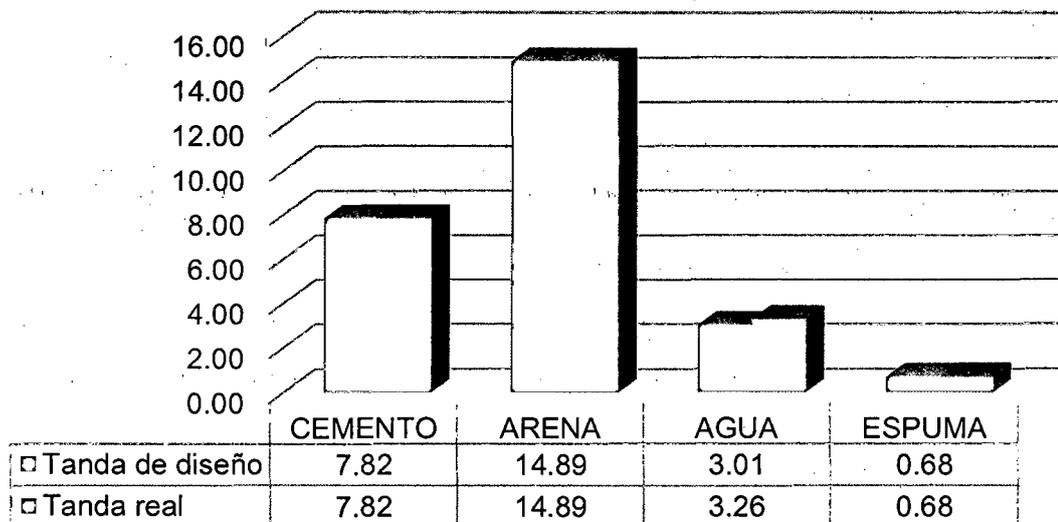
Para llegar a la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup> se incrementó en un 8.25 % la cantidad de agua para una buena cohesión y trabajabilidad, se mantuvo constante la cantidad de espuma.

**Tabla N° 23: Dosificación del Concreto Celular E-1.2**

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	391.07	7.82	7.82
ARENA	kg	744.28	14.89	14.89
AGUA	lt	150.57	3.01	3.26
ESPUMA	kg	34.08	0.68	0.68
FIBRA	gr	-	-	-
ADITIVO	gr	-	-	-
A/C SIN ESPUMA		0.385	0.385	0.417
A/C CON ESPUMA		0.472	0.472	0.504

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 8: Dosificación propuesta Vs dosificación real (E-1.2)**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.4.3. Densidad aparente 1400 [kg/m<sup>3</sup>]

#### a. Dosificación EAF-1.4

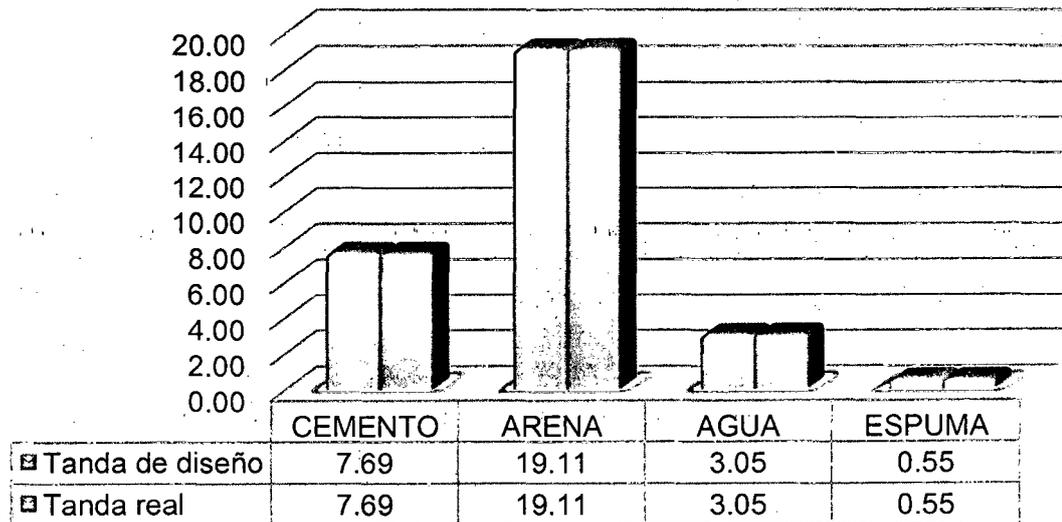
Para llegar a la densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup> se mantuvo constante la cantidad de agua y la cantidad de espuma.

**Tabla N° 24:** Dosificación del Concreto Celular EAF-1.4

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	384.32	7.69	7.69
ARENA	kg	955.46	19.11	19.11
AGUA	lt	152.63	3.05	3.05
ESPUMA	kg	27.59	0.55	0.55
FIBRA	gr	500.00	10.00	10
ADITIVO	gr	3074.53	61.49	61.49
A/C SIN ESPUMA		0.397	0.397	0.397
A/C CON ESPUMA		0.469	0.469	0.469

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 9:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (EAF-1.4)



*Fuente: Elaboración propia*

### b. Dosificación EA-1.4

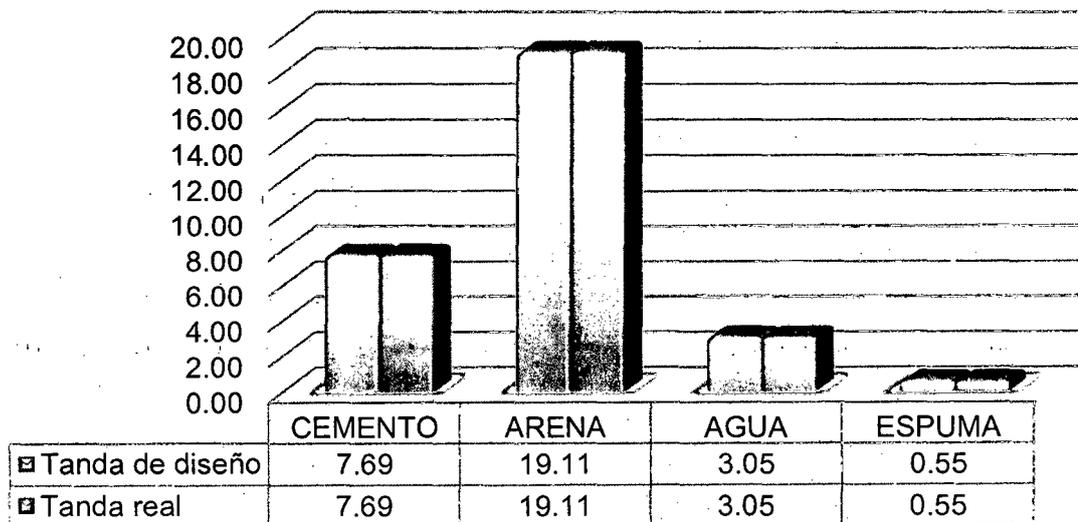
Para llegar a la densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup> se mantuvo constante la cantidad de agua y la cantidad de espuma.

Tabla N° 25: Dosificación del Concreto Celular EA-1.4

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	384.32	7.69	7.69
ARENA	kg	955.46	19.11	19.11
AGUA	lt	152.63	3.05	3.05
ESPUMA	kg	27.59	0.55	0.55
FIBRA	gr	-	-	-
ADITIVO	gr	3074.53	61.49	61.49
A/C SIN ESPUMA		0.397	0.397	0.397
A/C CON ESPUMA		0.469	0.469	0.469

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 10: Dosificación propuesta Vs dosificación real (EA-1.4)



Fuente: Elaboración propia

### c. Dosificación EF-1.4

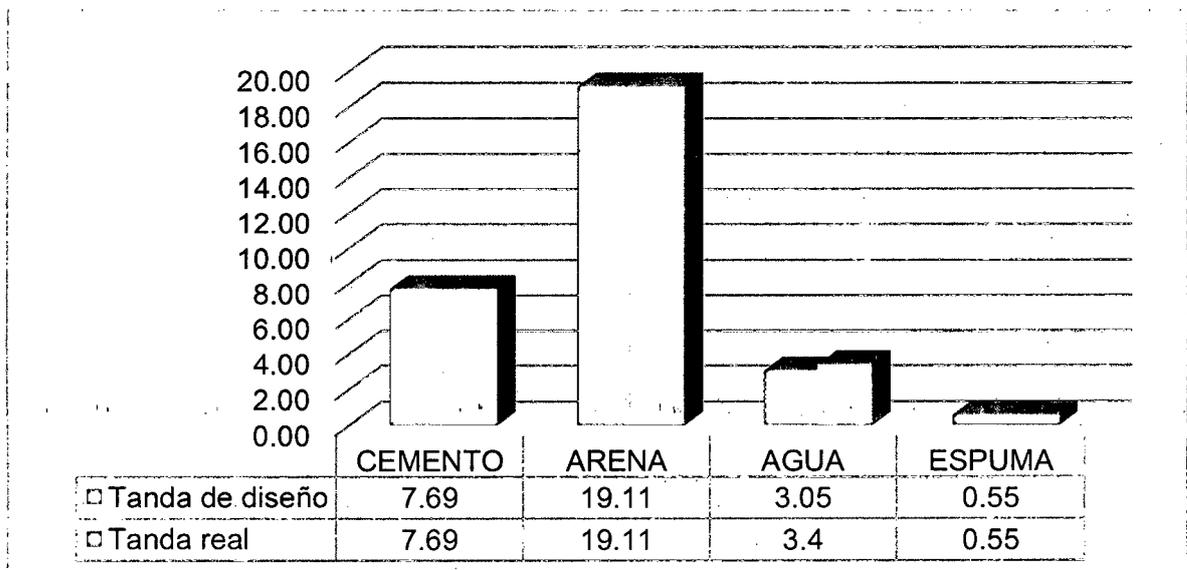
Para llegar a la densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup> se incrementó la cantidad de agua en 11.38% para mejorar la cohesión y trabajabilidad y se mantuvo constante la cantidad de espuma.

**Tabla N° 26:** Dosificación del Concreto Celular EF-1.4

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	384.32	7.69	7.69
ARENA	kg	955.46	19.11	19.11
AGUA	lt	152.63	3.05	3.40
ESPUMA	kg	27.59	0.55	0.55
FIBRA	gr	500.0	10.00	10.00
ADITIVO	gr	-	-	-
A/C SIN ESPUMA		0.397	0.397	0.442
A/C CON ESPUMA		0.469	0.469	0.514

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 11:** Dosificación propuesta Vs dosificación real (EF-1.4)



*Fuente: Elaboración propia*

#### d. Dosificación E-1.4

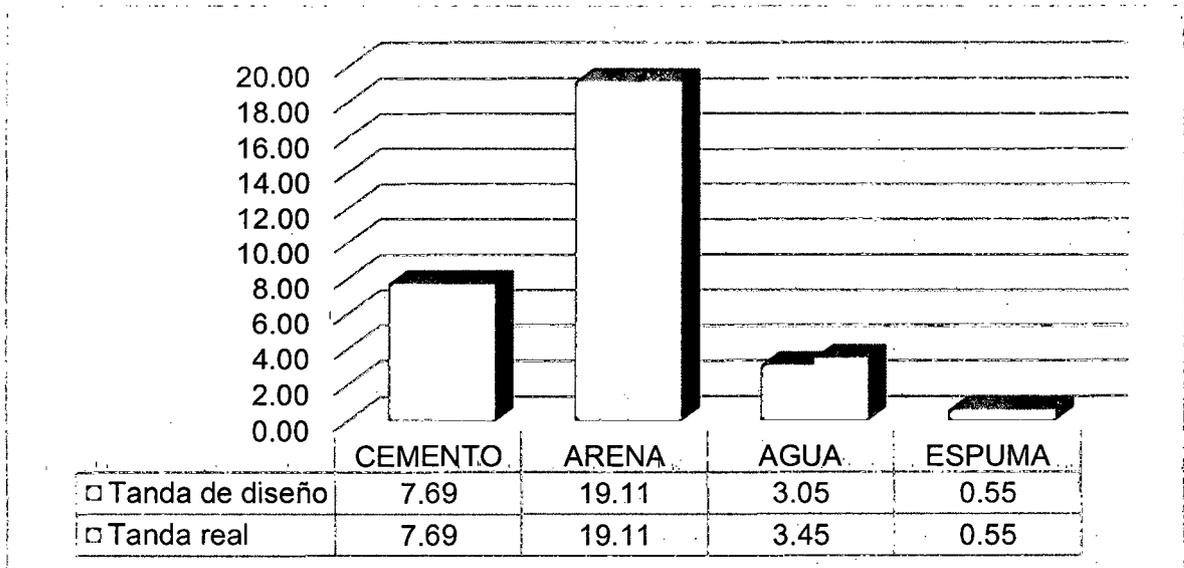
Para llegar a la densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup> se incrementó la cantidad de agua en 13.10% para mejorar la cohesión y trabajabilidad y se mantuvo constante la cantidad de espuma.

Tabla N° 27: Dosificación del Concreto Celular E-1.4

MATERIALES	UN	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0,020 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	kg	384.32	7.69	7.69
ARENA	kg	955.46	19.11	19.11
AGUA	lt	152.63	3.05	3.45
ESPUMA	kg	27.59	0.55	0.55
FIBRA	gr	-	-	-
ADITIVO	gr	-	-	-
A/C SIN ESPUMA		0.397	0.397	0.449
A/C CON ESPUMA		0.469	0.469	0.521

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 12: Dosificación propuesta Vs dosificación real (E-1.4)

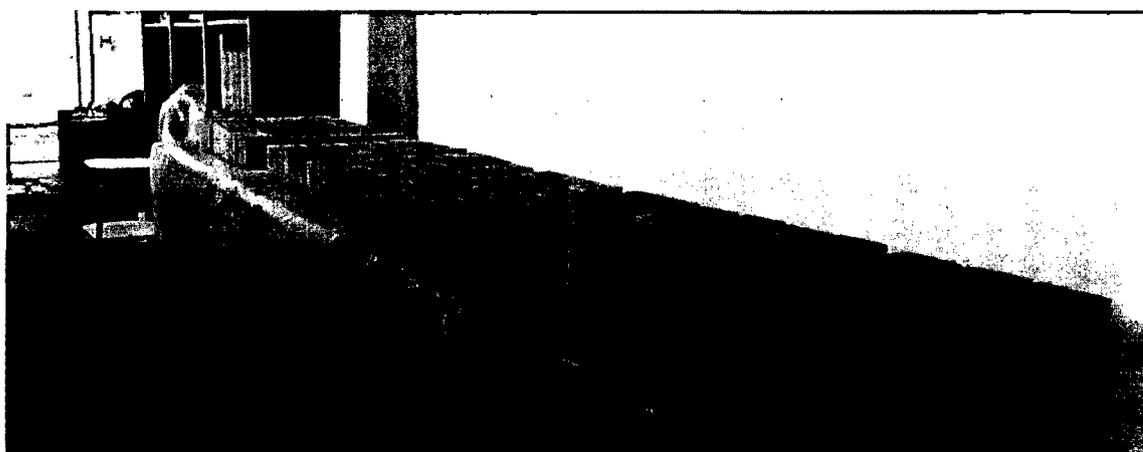


Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5. ESPECIFICACIONES DE ESPECIMENES DE ENSAYO

El ACI 523 3R-2014, menciona que la toma de muestras en probetas, preparación y ensayo para la resistencia a compresión del Concreto Celular, se puede realizar acuerdo a lo descrito en la norma ASTM C 495-2012, sin embargo, con el proceso de elaboración del Concreto Celular y la naturaleza heterogénea de la sección transversal de los bloques de Concreto Celular a elaborar luego de hallada la dosificación óptima, el uso de especímenes cilíndricos para ensayos a compresión no proporcionarán una estimación realista de la resistencia a la compresión del Concreto Celular.

Phan (2005) ha demostrado que cubos de 100x100x100mm mm pueden ser utilizados para medir la resistencia a la compresión del Concreto Celular. Para el presente estudio se decidió utilizar cubos de 100x100x100mm, la razón de esta decisión es que la aplicación principal de Concreto Celular está en la prefabricación de paneles y bloques. Por tanto, se analizó especímenes cúbicos para comprender el comportamiento de los bloques de Concreto Celular que se elaboraron posterior a la determinación de la dosificación óptima.



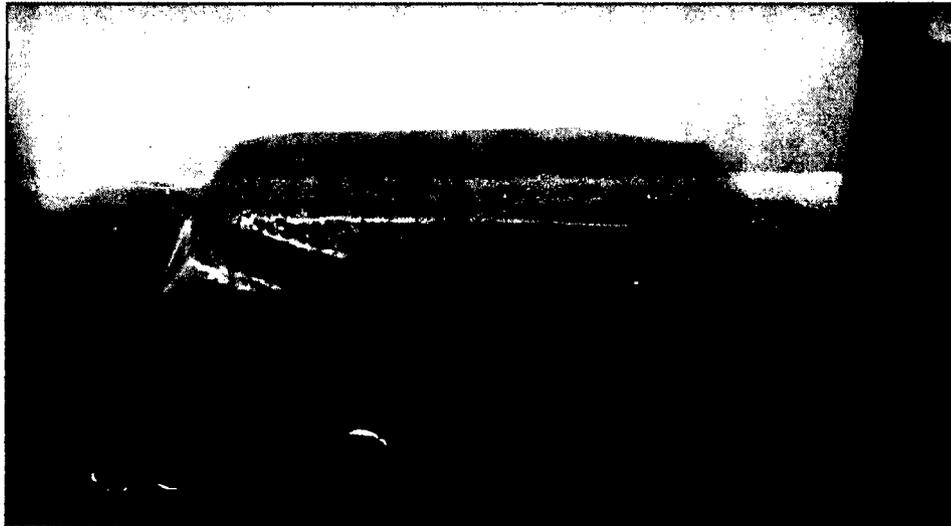
*Imagen N° 30: Especímenes de Concreto Celular de 100mm x 100mm x 100mm  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.3.6. CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO CELULAR

El curado del Concreto Celular, según las recomendaciones de la guía ACI 523 3R-2014, debe seguir lo descrito en la norma ACI 308 R o la ASTM C192-2015, no obstante para el presente estudio se ha optado por un curado diferente siguiendo recomendaciones de la norma Australiana AS 1012, la cual menciona que las probetas de concreto ligero totalmente saturados tendrán una fuerza de compresión más baja debido a las presiones de poros internos. Por lo tanto, el curado normal sumergido en

agua no puede ser considerado como un método de curado estándar para el Concreto Celular y no representará la resistencia real del Concreto Celular.

Entonces siguiendo recomendaciones de la norma AS 1012, los especímenes fueron mantenidos en un baño de agua durante 4 días antes de colocarlos dentro de bolsas de plástico para simular condiciones de 100% de humedad.



*Imagen N° 31: Especímenes guardados en una bolsa de plástico sellada para evitar la pérdida de humedad, para simular el medio ambiente de humedad 100 %*

*Fuente: Fotografía propia*

### **3.4. ENSAYOS DEL CONCRETO CELULAR**

El Concreto Celular con o sin aditivos estudiado en esta investigación fue sometido a diferentes ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, para ello fue necesario someter la mezcla a ensayos programados para obtener: en estado fresco, la consistencia o fluidez y la cantidad de aire contenido, y para el estado endurecido, la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, densidad y absorción de agua, todo esto con la finalidad obtener una dosificación óptima para elaborar bloques de Concreto Celular.

#### **3.4.1. CONSISTENCIA O FLUIDEZ DE LA MEZCLA**

El ACI y las normas ASTM no prevén ensayos de fluidez para Concreto Celular. El presente estudio considera adecuados realizarlos, por cuanto se trata de un material que va a ser utilizado para elaboración bloques de Concreto Celular, debiendo cumplir con determinados requerimientos. El Concreto Celular posee características similares

a los materiales de baja densidad y baja resistencia controlada (LD-CLSM), productos bastante estudiados que cuentan con abundante información y normativas, de forma que, pruebas de laboratorio que normalmente se aplican a estos materiales, de baja densidad y resistencia controladas, se pueden aplicar, con ciertas restricciones, a los concretos celulares.

La consistencia o fluidez, es la propiedad que distingue al Concreto Celular de otros concretos convencionales, representa la cualidad que permite fluir al material, auto-compactarse, auto-nivelarse y llenar completamente los vacíos, en moldes y encofrados, sin la necesidad de utilizar equipo adicional de distribución y compactación.

La forma más adecuada para medir la consistencia del Concreto Celular es el ensayo de fluidez modificado, conforme a la norma ASTM D 6103-2004, "Consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada". El ensayo consiste en la utilización de un cilindro de  $76 \pm 3$  mm de diámetro y  $150 \pm 3$  mm de altura abierto en ambos extremos (Imag .N° 33). Se alcanza una buena fluidez cuando no se note segregación y el material se disperse en un diámetro comprendido entre 200 – 300 mm.

Por facilidad y costumbre, se utiliza con mucha frecuencia el método alternativo de ensayo conforme a la norma ASTM C 143-2015. "Asentamiento de concreto de cemento portland" (imagen N° 32). Método del cono de asentamiento o Cono de Abrams, molde metálico troncocónico de 300 mm de alto, 100 mm de diámetro superior y 200 mm de diámetro inferior, que evalúa la consistencia cuando se esperan revenimientos menores a 200 mm que se enmarcan dentro de los siguientes parámetros:

- ✓ Baja fluidez : 150 mm o menos
- ✓ Fluidez media : 125 -200 mm
- ✓ Alta fluidez : superior a 200 mm

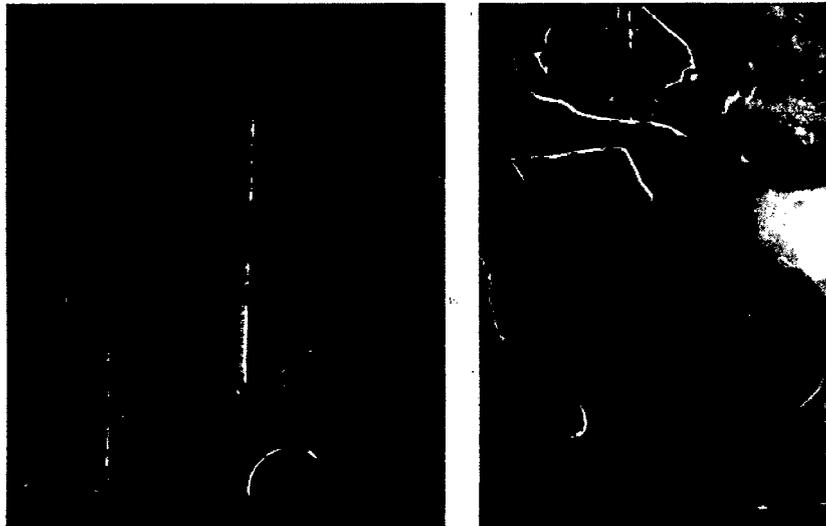
Para el presente estudio se ha medido la fluidez según lo establecido en la norma ASTM D 6103, los aparatos y/o equipos y el procedimiento realizado se describe a continuación:

### ➤ **Aparatos:**

- ✓ **Cilindro de flujo:** El cilindro de flujo debe ser un  $150 \pm 3,0$  mm ( $6'' \pm 1/8$  pulg.) de longitud de  $76 \pm 3,0$  mm ( $3'' \pm 1/8$  pulg.) en el interior de diámetro, de ser una tubería recta de acero, plástico u otro no absorbente.
- ✓ **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.
- ✓ **Superficie lisa:** cuadrada no porosos de 0.6 m o más grande, hecho de un material no poroso no corrosivo, tal como acrílico, fundición de aluminio, o acero inoxidable.
- ✓ **Wincha:** Dispositivo de medición, capaz de medir el diámetro propagación. Debe ser capaz de medir un mínimo de 6 mm ( $1/4$  pulga).
- ✓ **Cronometro o reloj:** capaz de medir intervalos de tiempo de 1 segundo.

### ➤ **Procedimiento**

- ✓ Se colocó el cilindro sobre una superficie plana y nivelada que es libre de vibraciones u otras perturbaciones.
- ✓ Se humedeció el cilindro con agua y se colocó en una superficie plana no porosa lisa.
- ✓ Se procedió a llenar el cilindro de flujo hasta rebosar y luego se niveló la superficie con un borde recto adecuado. Se retiró cualquier derrame de la mezcla después de golpear con el mazo con cabeza de hule.
- ✓ Después de los 5 segundos de llenado, se elevó el cilindro de flujo de forma rápida y cuidadosamente en una dirección vertical. Elevar el cilindro de flujo de al menos 15 cm (6,0 pulg.) Por una constante elevación hacia arriba sin movimiento lateral o torsión en un período de tiempo entre 2 y 4 segundos.
- ✓ Se completó toda la prueba sin interrupción dentro de un tiempo transcurrido de 1-1/2 min.
- ✓ Inmediatamente después se midió el diámetro de mayor difusión resultante. Se tomó dos mediciones de la propagación de diámetro perpendiculares entre sí.



*Imagen N° 32: Ensayo de fluidez  
Fuete: Fotografía propia*

**Descripción: Foto izquierda: Ensayo de fluidez ASTM D 6103  
Foto derecha: Ensayo de fluidez ASTM C 143**

### **3.4.2. CONTENIDO DE AIRE**

Existen varios métodos para determinar el aire incorporado en el concreto convencional fresco; ASTM C 173-2014 (Método Volumétrico), ASTM C 138-2015 (Método Gravimétrico), ASTM C 231-2014 (Método de Presión), entre otros. Para el presente estudio se tomará el método de ensayo ASTM D 6023-2007 "Método de ensayo para Peso Unitario, Contenido de Aire y Rendimiento en Material de Baja Resistencia Controlada", método basado en el ensayo ASTM C 138-2015 "Peso unitario, rendimiento y contenido de aire del concreto fresco", que cubre el proceso para determinar el contenido de aire de una muestra elaborada con cualquier tipo de agregado, sea denso, celular o liviano. Se mide el contenido de aire de la fracción del mortero, independiente del aire que pudiera estar presente en las partículas del agregado.

De acuerdo a la norma ASTM D 6023-2007 se procedió a realizar el ensayo, los aparatos y/o equipos y el procedimiento se describen a continuación:

#### **➤ Aparatos**

- ✓ **Balanzas:** Una balanza con exactitud dentro del 0.3% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.05 kg.

- ✓ **Aparatos de llenado:** Cucharas, baldes o palas de suficiente capacidad para facilitar el llenado del medidor de una manera rápida y eficiente.
- ✓ **Recipiente:** Un contenedor cilíndrico hecho de acero u otro metal adecuado. Este deberá ser impermeable y suficientemente rígido para retener su forma y volumen calibrado bajo uso repetido.
- ✓ **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.

### ➤ Procedimiento

- ✓ Se colocó el recipiente en una superficie horizontal, rígida y nivelada, libre de vibración y otras perturbaciones.
- ✓ Se mezcló completamente la muestra de Concreto Celular, luego con se tomó cucharadas de la porción central de la muestra y se introdujo dentro del recipiente. Se repitió este procedimiento hasta llenar el recipiente, después llenar cada capa, se golpeó suavemente los lados del recipiente con el mazo) usando la fuerza requerida para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Añadir la última capa evitando sobrellenar el recipiente.
- ✓ Después de completar el llenado se enrasó la superficie teniendo gran cuidado para salir del medidor ajustado al nivel lleno.
- ✓ Limpieza y Medición de la Masa – después de enrasar, se limpió todo el exceso de Concreto Celular del exterior del medidor y se determinó la masa del molde más la muestra.

### ➤ Cálculos

#### Densidad de masa (Peso unitario)

$$D = \frac{(M_c + M_m)}{V_m}$$

Donde:

D = Densidad de masa (peso unitario) del concreto, kg/m<sup>3</sup>

Mc = Masa del recipiente de medida lleno de concreto, kg

Mm = Masa del recipiente vacío, kg

Vm = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

### Densidad teórica

$$T = \frac{M}{V}$$

Donde:

T = Densidad teórica del hormigón, kg/m<sup>3</sup>

M = Masa total de todos los materiales en la tanda, kg

V = Volumen absoluto de los ingredientes componentes de la mezcla, m<sup>3</sup>

### Contenido de aire

$$A = \left[ \frac{(T - D)}{T} \right] \times 100$$

Dónde:

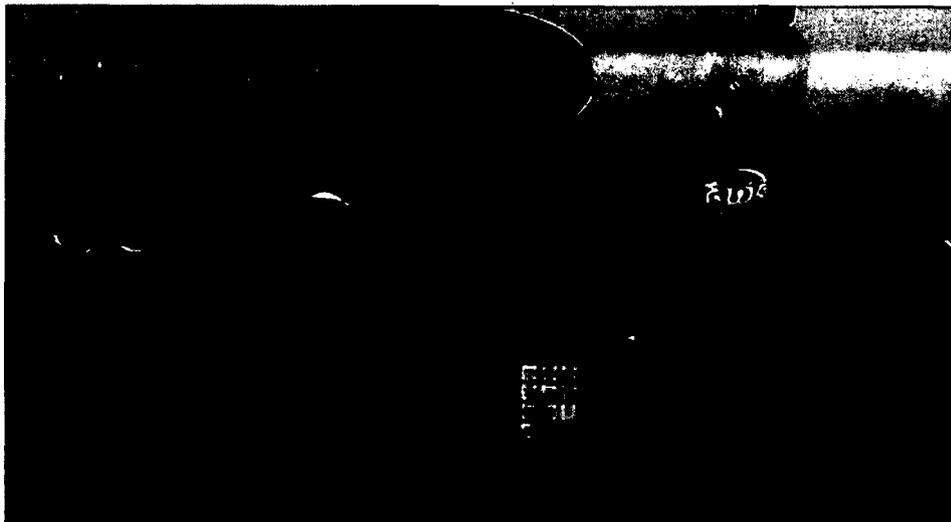
A = Contenido de aire, %

T = Densidad teórica, kg/m<sup>3</sup>

D = Densidad de masa (peso unitario) del Concreto Celular, kg/m<sup>3</sup>

### ➤ **Expresión de resultados**

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.



*Imagen N° 33: Ensayo de densidad de masa del Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.4.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para determinar la resistencia a compresión del Concreto Celular el ACI indica que se debe seguir los requisitos de la norma ASTM C 495-2012 "*Método normalizado para determinar la resistencia a la compresión en concretos livianos*", esta norma establece que las muestras representativas para el ensayo a compresión, se toman en moldes cilíndricos de 75 mm de diámetro por 150 mm de longitud, sin embargo como ya se ha mencionado anteriormente las muestras han sido tomadas en cubos de 100x100x100 mm, la razón de esta decisión es que la aplicación principal de Concreto Celular está en la prefabricación de paneles y bloques y como es la finalidad de este estudio diseñar un bloque de Concreto Celular se optó por lo antes mencionado.

Esta prueba ha sido realizada de acuerdo a lo descrito por Phan (2005), quien ha demostrado que cubos de 100 x 100 mm pueden ser utilizados para medir la resistencia a la compresión del Concreto Celular. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de 7, 14 y 28 días, para establecer la fuerza en cada edad, 3 ejemplares de cada dosificación fueron probados bajo compresión.

Los aparatos y el procedimiento realizado se describen a continuación:

#### ➤ **Aparatos:**

- ✓ **Máquina universal de compresión:** Se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.
- ✓ **Placas:** Se utilizó dos placas de acero colado de espesor de 25.4mm, para colocarlos en las caras de los especímenes, para que estos se presenten nivelados y paralelos y la carga se distribuya uniformemente.
- ✓ **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- ✓ **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se midió las dimensiones de la cara superior e inferior del cubo además de la altura del mismo, las mediciones fueron tomadas en forma perpendicular una de la otra.
- ✓ Se limpió la superficie interior de máquina universal a compresión, se coloca una de la placas en la máquina y sobre la placa se acondiciona el cubo, luego se coloca la otra placa sobre la cara superior del cubo y se alinea placas y cubo con el eje de la barra de acero de aplicación de carga, se calibra la máquina antes de aplicar la carga y se pone en contacto la placa superior con la barra de acero que aplica la carga. Luego se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar el ensayo, adicionalmente se utilizó un deformímetro para medir deformaciones.
- ✓ Se aplica la carga de ensayo de manera continua y sin golpe, el régimen de carga con la máquina de compresión se debe mantener en un rango de 0.05 a 0.20 MPa/s durante la última fase de la carga, esto depende de la densidad del bloque ensayado.

➤ **Cálculos:**

Luego de registrados los resultados se calcula según la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P}{A}$$

Donde:

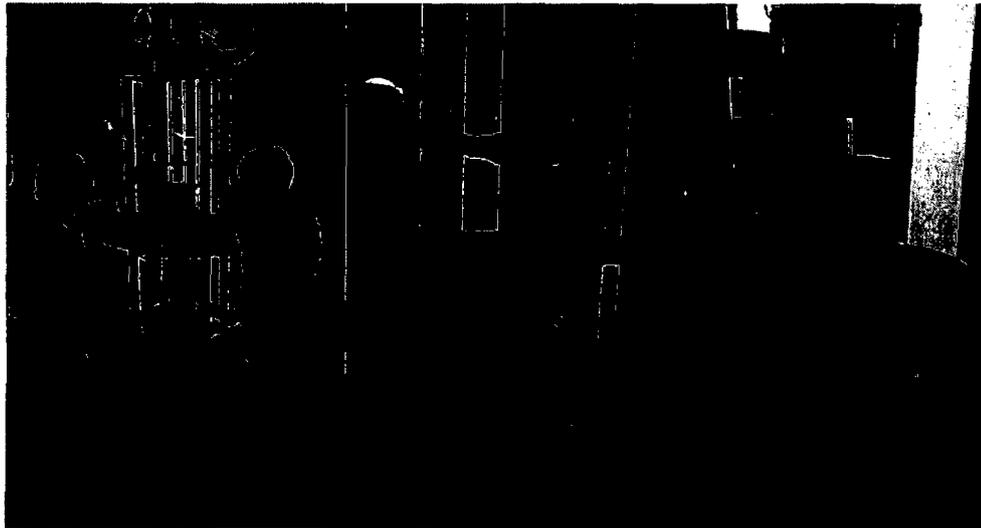
C = resistencia a la compresión

A = área promedio de las caras del cubo

P = carga máxima

➤ **Expresión de resultados**

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.



**Imagen N° 34:** Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de Concreto Celular  
**Fuente:** Fotografía propia

#### 3.4.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de un material, es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. La elasticidad, es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones variables por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre los cilindros y/o cubos de prueba, varía por la forma y dimensión de un cuerpo. Los cilindros y/o cubos fallan cuando el material supera las fuerzas internas de cohesión.

Es importante el módulo de elasticidad ya que este influye en las deflexiones, derivas y rigidez, se puede conocer el acortamiento por carga axial de un elemento estructural a más de que se puede tener una noción para diseñar con mayor seguridad y evitar grandes deformaciones. Este ensayo se realiza según la norma ASTM C 469-2014 para el concreto convencional.

Para el presente estudio del Concreto Celular, la guía de ACI 523 3R-14, establece que el módulo de elasticidad debe ser calculado de acuerdo a lo indicado por el ACI 318S, que permite calcular el módulo de elasticidad por la ecuación que se muestra a continuación:

$$E_c = 0.043\gamma^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ Mpa}$$

Dónde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad, MPa

$\gamma$  = Densidad del concreto, kg/m<sup>3</sup>

$f_c$  = Resistencia a la compresión del concreto, MPa

También la norma ASTM C 469 proporciona una fórmula para calcular el módulo de elasticidad.

$$E_c = (S_2 - S_1)/(\epsilon_2 - 0.00005)$$

Dónde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad, MPa

$S_2$  = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, MPa

$S_1$  = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de  $\epsilon_2$  igual a 50 millonésimas, MPa

$\epsilon_2$  = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo  $S_2$

### ➤ Expresión de resultados

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.



*Imagen N° 35: Medición de deformaciones en especímenes cúbicos de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.4.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico es uno de los parámetros importantes en el concreto, ya que influye en los cálculos principales de diseño estructural, control de calidad del hormigón en obra entre otros, las densidades aparentes propuestas inicialmente en este estudio fueron de 1000, 1200 y 1400 [kg/cm<sup>3</sup>], estos valores son referenciales, para saber a qué pesos específicos finalmente se llegó en este estudio.

El peso específico y la absorción se realizan de acuerdo a la norma ASTM C 642-2013, y los aparatos y el procedimiento de ensayo se describen a continuación:

➤ **Aparatos:**

- ✓ **Balanza:** sensible a 0,025 % de la masa de la espécimen.
- ✓ **Recipiente:** adecuado para la inmersión de la muestra y alambre adecuado para la suspensión de la muestra en agua.
- ✓ **Tanque de agua:** Un recipiente hermético, en el que se coloca el recipiente de la muestra mientras está suspendido debajo de la balanza.
- ✓ **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se Determinar la masa de los especímenes secos al horno, a una temperatura de  $100\text{ a }110\text{ °C}$  por no menos de 24 h. Después de retirar cada espécimen del horno, se dejó que se enfríe al aire y se determinó la masa, repitiendo el procedimiento hasta que la diferencia entre dos valores sucesivos sea menor que 0,5% del menor valor obtenido.
- ✓ Se sumergió los especímenes en agua a  $21\text{ °C}$  por un periodo no menor de 48 horas, luego se retiró los especímenes del agua y con una toalla se remueve la humedad superficial de los especímenes para dejarlos en condición de saturados de superficie seca y se determinó su masa.
- ✓ Después de retirar los especímenes del agua y dejarlos en condición de saturados con superficie seca, se suspendió los especímenes dentro del agua por un alambre y se determinó su masa sumergida aparente.

➤ **Cálculos:**

Usando los valores de la masa determinados de acuerdo a los procedimientos descritos anteriormente, se procede a la ejecución de los siguientes cálculos.

$$\text{Peso específico (gr/cm}^3\text{)} = \frac{W_d * \rho}{W_s - W_i}$$

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

Donde:

$W_d$ =Peso del espécimen seco al horno, al aire (gr)

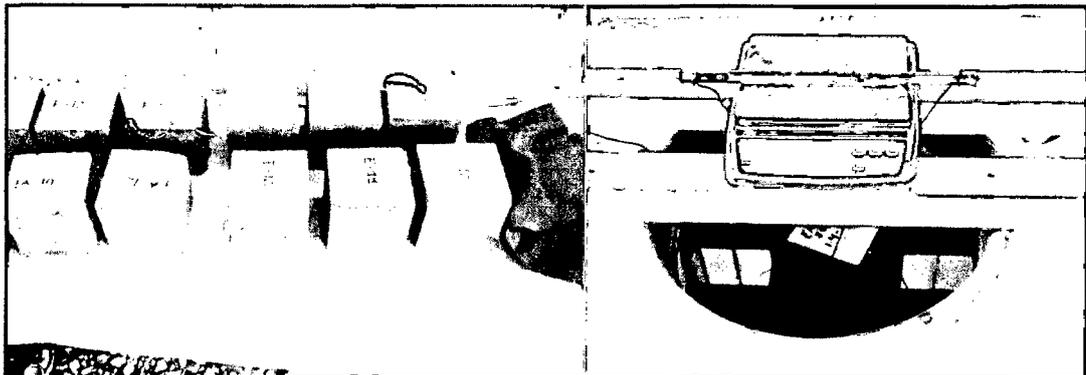
$W_s$ =Peso de espécimen en condición superficie saturada seca, (gr)

$W_i$ =Peso del espécimen suspendido en agua, (gr)

$\rho$ = Densidad del agua, (kg/cm<sup>3</sup>)

### ➤ Expresión de resultados

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.



*Imagen N° 36: Densidad y absorción del especímenes cúbicos de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.5. DISEÑO Y ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR

Existen una gran gama de posibilidades para el uso de Concreto Celular, entre menor sea la densidad, más provecho económico se tendrá del Concreto Celular, las piezas más comunes son bloques entre 1000 y 1400 kg/m<sup>3</sup>, placas de entrepiso de 1350 y 1600 kg/m<sup>3</sup>, rellenos fluidos sobre azoteas de 500 a 400 kg/m<sup>3</sup>, protecciones contra fuego especializadas de 600 y 800 kg/m<sup>3</sup>, baldosas en Concreto Celular con acabados a mano para decoración con densidades de 800 y 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Entonces partiendo de la gran gama de usos del Concreto Celular se propuso como objetivo diseñar un bloque que cumpla con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana para ser usado como unidad de albañilería no estructural, es por ello que luego del sinnúmero de dosificaciones y pruebas se culminó el diseño del Concreto Celular, dejando los especímenes cúbicos en el laboratorio para poder hacerles un seguimiento y curado adecuado, y después de 28 días en los que ya se podían valorar

los resultados se procedió a elaborar los bloques de Concreto Celular con la dosificación que arrojó mejores resultados.

### 3.5.1. DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

Después de un sin número de ensayos en estado fresco y endurecido del Concreto Celular para densidades de 1000 kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> y 1400 kg/m<sup>3</sup> con y sin adición de aditivos y/o fibras se obtuvo la dosificación óptima, esta dosificación fue la EAF-1.4, con la que se obtuvo la mayor resistencia a la compresión, resistencia que superaba holgadamente la resistencia mínima establecida en la NTP 399.600-2010 y NTP 399.602-2002 para bloques de concreto de uso no estructural y estructural.

**Tabla N° 28: Dosificación óptima para el diseño de bloques de Concreto Celular (EAF-1.4)**

MATERIALES	UN	DOSIFICACION DE DISEÑO	DOSIFICACION CORREGIDA
CEMENTO	kg	384.32	384.32
ARENA	kg	955.46	955.46
AGUA	lt	152.63	152.63
ESPUMA	kg	27.59	27.59
FIBRA	gr	500.00	500.00
ADITIVO	gr	3074.53	3074.53
A/C SIN ESPUMA		0.397	0.397
A/C CON ESPUMA		0.469	0.469

*Fuente: Elaboración propia*

Esta dosificación fue usada para elaborar los bloques de Concreto Celular y se siguió exactamente los mismos pasos de diseño y el proceso de elaboración de los especímenes cúbicos elaborados para determinar la dosificación óptima.

### 3.5.2. DIMENSIONES DEL BLOQUE

Las dimensiones del bloque están dadas por sus dimensiones reales, que corresponden a la unidad prototipo. Las dimensiones usualmente consideradas en las normas son las siguientes:

**Tabla N° 29:** Dimensiones de los bloques de concreto para uso no estructural

Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
29	19	29
39	19	19
39	29	19
29	24	29

*Fuente: NTP 399.602-2002*

Para su utilización en albañilería armada y confinada, pueden emplearse unidades de las siguientes dimensiones:

**Tabla N° 30:** Dimensiones de los bloques de concreto para uso estructural

Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
29	14	
39	14	19
39	12	

*Fuente: NTP 399.602-2002*

Para las unidades estándar, el total de las dimensiones (ancho, alto y longitud) no debe diferir por más de  $\pm 3$  mm de las dimensiones especificadas. Además, pueden adoptarse otras dimensiones según las medidas modulares de la Norma Técnica Peruana 400.006.

De acuerdo a lo visto anteriormente en cuanto a las dimensiones del bloque, se optó por elaborar un bloque de Concreto Celular de 09x19x39 cm, dimensiones que están acorde a lo estipulado en la NTP 399.602 y la NTP 400.006 y que favorecen al peso de la unidad ya que se elaboró un bloque solido con una densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup> y que es mucho más liviano que un bloque de concreto convencional.



**Imagen N° 37:** Moldes metálicos de 09x19x39 cm para elaborar los bloques de Concreto Celular  
*Fuente: Fotografía propia*

### 3.5.3. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

Para elaborar los bloques de Concreto Celular se usó la misma metodología que se siguió para elaborar los especímenes cúbicos visto anteriormente en el apartado 3.3.3.



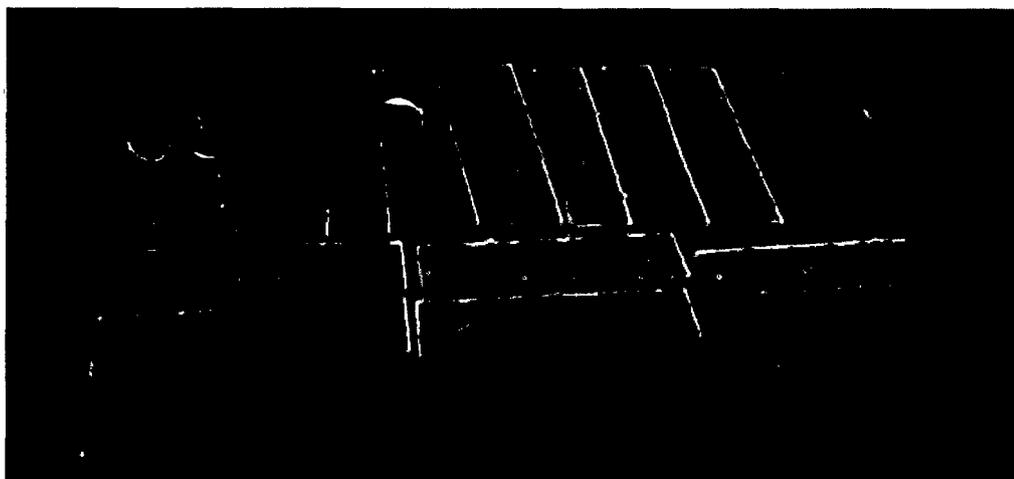
*Imagen N° 38: Proceso de elaboración de los bloques de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### **3.5.4. CURADO**

El curado de los bloques de Concreto Celular se hizo igual que el curado los especímenes cúbicos, los bloques fueron sometidos a un baño de agua durante 7 días y luego fueron cubiertos por un plástico para evitar pérdida de humedad y contribuir así a su curado.

### **3.5.5. ALMACENAMIENTO**

Luego del curado de los bloques de Concreto Celular descrito en líneas anteriores, se procedió a almacenar los bloques cubiertos por un plástico en un lugar amplio y de fácil acceso con un piso limpio, firme y nivelado. Después de 28 días los bloques fueron utilizados para realizar los ensayos respectivos y para la construcción de pilas y muretes que fueron ensayadas 28 días después de su construcción.



*Imagen N° 39: Almacenamiento de bloques de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

## **3.6. ENSAYOS EN BLOQUES DE CONCRETO CELULAR**

### **3.6.1. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN**

El ensayo peso específico y absorción en bloques de Concreto Celular se realizó de acuerdo a lo establecido en la NTP 399.604-2002.

Para este ensayo los especímenes deberán estar secos. La absorción de cada espécimen se medirá como la relación que existe entre el peso del agua absorbida por la unidad de albañilería después de haberla sumergido durante 24 horas en una poza de agua y su peso en estado inicial multiplicada por 100. Se adoptara como absorción

(en porcentaje) al valor promedio de la muestra ensayada. Para el caso de bloques de concreto el porcentaje de absorción no debe ser superior a 12 %.

➤ **Aparatos:**

- ✓ **Balanza:** sensible a 0,025 % de la masa del bloque.
- ✓ **Recipiente:** adecuado para la inmersión de la muestra y alambre adecuado para la suspensión del espécimen en agua.
- ✓ **Tanque de agua:** Un recipiente hermético, en el que se coloca el espécimen mientras está suspendido debajo de la balanza.
- ✓ **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se pesó el espécimen en estado natural.
- ✓ Se sumergió los especímenes de prueba en agua por 24 horas, luego de transcurridas las 24 horas se los retiró de la agua y se pesó los especímenes mientras están suspendidos por un alambre de metal y sumergidos totalmente en agua, se registró este dato como  $W_i$  (peso sumergido).
- ✓ Se procedió a sacar del agua y permitir el drenado por 1 minuto colocándolo en una malla de alambre más grueso de 9,5 mm, retirando el agua superficial visible con un paño húmedo; se pesó y se registró este dato como  $W_s$  (peso saturado).
- ✓ Subsecuente a la saturación, se secó los especímenes en un horno ventilado a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  por no menos de 24 horas y hasta que dos pesadas sucesivas en intervalos de 2 horas mostraron un incremento de la pérdida no mayor que 0,2 % del peso último previamente determinado del espécimen. Se registró los pesos de los especímenes secados como  $W_d$  (peso secado al horno).

➤ **Cálculos:**

**Absorción:** Calcular la absorción como sigue:

$$\text{Absorción, kg/m}^3 = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 100$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

Donde:

$W_s$  = peso saturado del espécimen, (kg)

$W_i$  = peso sumergido del espécimen, (kg)

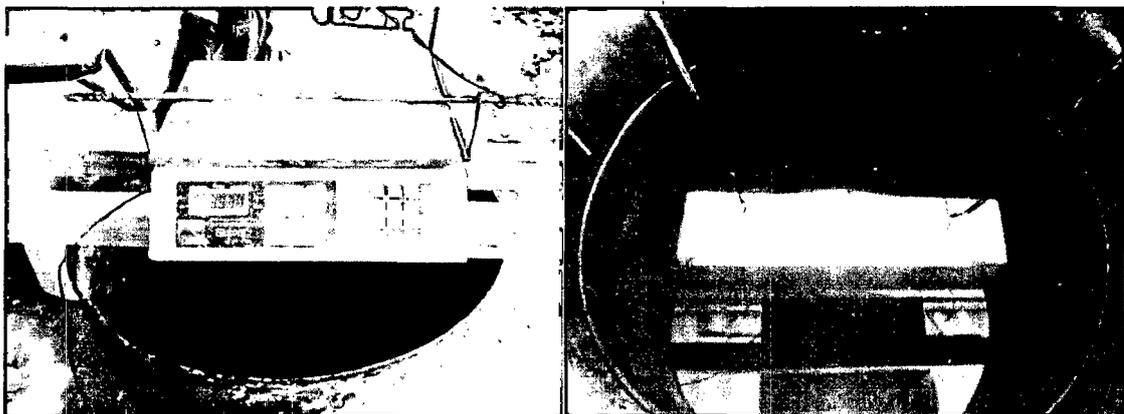
$W_d$  = peso seco al horno del espécimen, (kg).

**Peso específico:** Calcular el peso específico seco al horno como sigue:

$$\text{Peso específico (Pe), kg/m}^3 = \frac{W_d}{W_s - W_i} \times 100$$

➤ **Resultados:**

Los resultados se muestran en el capítulo IV.



*Imagen N° 40: Ensayo de densidad y absorción de bloques de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.6.2. COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES

El ensayo de resistencia a la compresión simple en bloques de Concreto Celular se realizó de acuerdo a lo establecido en la NTP 399.604-2002.

La resistencia a la compresión de la albañilería ( $f^{\prime}b$ ) es su propiedad más importante. En términos generales, define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

Los requisitos de resistencia y absorción que debe cumplir los bloques tanto para uso estructural como no estructural se muestra en las siguientes tablas:

**Tabla N° 31:** Requisitos de resistencia de bloques no estructurales

<b>Resistencia a la compresión respecto al área bruta promedio, min, Mpa</b>	
<b>Promedio de 03 unidades</b>	<b>4.2</b>
<b>Unidad individual</b>	<b>3.5</b>

*Fuente: NTP 399.600-2010*

**Tabla N° 32:** Requisitos de resistencia de bloques estructurales

<b>Resistencia a la compresión respecto al área bruta promedio, min, Mpa</b>		<b>Absorción, máx., % (Promedio de 03 unid.)</b>
<b>Prom. 3 unid.</b>	<b>Unidad individual</b>	
<b>7</b>	<b>6</b>	<b>12</b>

*Fuente: NTP 399.602-2002*

➤ **Aparatos:**

- ✓ **Máquina universal a compresión:** Se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.
- ✓ **Placas:** Se utilizó dos placas de acero colado de espesor de 25.4mm, para colocarlos en las caras de los bloque, para que estos se presenten nivelados y paralelos y la carga se distribuya uniformemente.
- ✓ **Deformimetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se tomaron 15 bloques de Concreto Celular, los cuales fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días (05 unidades por cada edad).
- ✓ Se registró su peso y se midió el largo, ancho y alto de las unidades a ensayar. Luego se ensayaron en la maquina universal para ensayos a la compresión.

- ✓ Para cada bloque ensayado se tomó datos de deformación cada 500 kg para posteriormente encontrar su módulo de elasticidad.

➤ **Cálculos:**

La resistencia a la compresión del área bruta se determinó dividiendo la carga máxima entre el área bruta, según la NTP 399.604.

$$f'_b = \frac{P_m}{A_b}$$

Donde:

$f'_b$ : Resistencia a la compresión del área bruta

$P_m$ : Carga máxima, kg.

$A_b$ : Área bruta, cm<sup>2</sup>.

➤ **Resultados:**

Los resultados se muestran en el capítulo IV.



*Imagen N° 41: Ensayo de resistencia a la compresión-bloques de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.6.3. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Al igual que la resistencia a compresión, la resistencia a tracción por flexión solo constituye una medida de la calidad de la unidad. La técnica de ensayo empleada

consiste en someter la unidad a la acción de una carga concentrada creciente, a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayo de 1.25mm/min. Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.079-2001 o su equivalente la ASTM C 293-2012.

➤ **Aparatos:**

- ✓ **Máquina universal a tracción:** Se usó una máquina de tracción hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.
- ✓ **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- ✓ **Regla:** De metal con aproximación de 0.5 mm.
- ✓ **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se limpió los apoyos de la máquina de tracción y se los colocó dejando una luz libre de 340 mm, se colocó el espécimen con de forma horizontal sobre los apoyos dejando en cada costado espacios de 2.5 cm, se elevó la traviesa hasta colocar el espécimen en contacto con la barra distribuidora de carga. Luego, se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar a aplicar la carga. También se utilizó un deformímetro colocado sobre el espécimen para medir deflexiones.
- ✓ Se aplicó la carga hasta que el espécimen falló y se registró la máxima carga soportada por el espécimen.

➤ **Cálculos:**

La resistencia a tracción por flexión se calcula mediante la fórmula de flexión simple de resistencia de materiales.

$$f'_t = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Donde:

$f'_t$ : Resistencia a la tracción por flexión, kg/cm<sup>2</sup>.

P: carga máxima, kg

L: Longitud entre apoyos, cm

b: Ancho de la unidad, cm

h: Altura de la unidad, cm

➤ **Expresión de resultados:**

Los cálculos y resultados se muestran en el capítulo IV.



*Imagen N° 42: Ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloque de Concreto Celular  
Fuente: Fotografía propia*

### **3.7. ENSAYOS EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA**

#### **3.7.1. COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

Este ensayo ha sido realizado acorde a la NTP 399.605-2013 o la ASTM C1314-2014. El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería está estandarizado, y consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra.

La esbeltez y la altura mínima de los prismas dependen si la albañilería es de ladrillos o de bloques. En el caso de los prismas de ladrillos la relación alto - ancho del prisma estará entre 2 y 5, y el alto no será menor de 30 cm. En el caso de las pilas de bloques,

la esbeltez estará entre 1.3 y 5, y el alto no será menor de 30 cm, (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

En pilas pequeñas, los valores de resistencia a compresión son mayores que los que arrojan las pilas esbeltas, debido a la mayor restricción al desplazamiento lateral inducida por los cabezales del equipo de ensayo en pilas de poca esbeltez. Por esta razón la NTP 399.605 proporciona factores de corrección por esbeltez, estos factores difieren de los indicados en la Norma E.070.

**Tabla N° 33:** Factor de corrección de altura a espesores para resistencia a compresión de prismas de mampostería

<b>hb/tp<sup>^</sup></b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>2.0</b>	<b>2.5</b>	<b>3.0</b>	<b>4.0</b>	<b>5.0</b>
<b>Factor de corrección</b>	0.75	0.86	1	1.04	1.07	1.15	1.22

*Fuente: Norma NTP 399.605*

<sup>^</sup>: Relación de altura y la menor dimensión lateral del prisma

➤ **Aparatos:**

- ✓ **Máquina universal:** Se usó una máquina de compresión con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.
- ✓ **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- ✓ **Regla:** De metal con aproximación de 0.5 mm.
- ✓ **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se construyeron 06 pilas de 2 hiladas con un espesor de mortero de 12 mm,
- ✓ Se diseñó y elaboró el mortero de acuerdo con las proporciones indicadas en la NTP 399.610, para muros portantes.
- ✓ Al momento de la construcción se controló la altura con el escantillón, y la verticalidad con un nivel y plomada.

- ✓ Se realizó el curado según lo indicado en la NTP 399.605.
- ✓ No fue necesario realizar el cabeceo de las pilas debido a que las superficies se presentaban uniformes. El ensayo de compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 28 días de edad.
- ✓ Se registró el peso de las pilas, con una balanza electrónica de 30 Kg, con aproximación 0.01 g, luego se midió la altura (H) y el espesor efectivo (t).
- ✓ Se colocó manualmente en la maquina universal, aplicándose la carga, leyéndose en el dial de carga cada 500 Kg, y con la ayuda de un deflectómetro se registró las deformaciones, para obtener las gráficas Esfuerzo vs. Deformación unitaria.

➤ **Cálculos:**

Se calculó la resistencia a compresión axial y el módulo de elasticidad en pilas de la siguiente manera:

**Resistencia a compresión axial**

$$f_m = \frac{P_{\text{máx.}}}{\text{Área}}$$

$$f'_m = f_m \times FC$$

Donde:

$f'_m$ : Resistencia a compresión axial (Kg/cm<sup>2</sup>)

$P_{\text{máx}}$ : Fuerza máxima que resiste la pila (Kg)

Área: Área bruta transversal a la fuerza (cm<sup>2</sup>)

FC: Factor de corrección

**Módulo de Elasticidad**

$$Em = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A}{(\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%})/L_i}$$

$P_{50\%}$  y  $P_{10\%}$ : Carga axial al 50% y al 10%.

$\epsilon_{50\%}$  y  $\epsilon_{10\%}$ : Deformación al 50% y al 10%.

A: Área de la sección transversal.

$L_i$ : longitud inicial.

Em: Módulo de elasticidad.

➤ **Expresión de resultados:**

Los cálculos y resultados se muestran en el capítulo IV.



*Imagen N° 43: Ensayo de resistencia a compresión axial en pilas  
Fuente: Fotografía propia*

### 3.7.2. COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES

El ensayo de compresión diagonal en los muretes de albañilería sirve para determinar la resistencia característica a corte puro ( $V/m$ ), y eventualmente si se instrumenta y registra las deformaciones diagonales para determinar el módulo corte de la albañilería ( $G_m$ ).

Este ensayo ha sido realizado acorde a la NTP 399.621-2004 que es similar a la ASTM E 519-2010.

➤ **Aparatos:**

- ✓ **Máquina universal:** Se usó una máquina de compresión con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.
- ✓ **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- ✓ **Guincha:** metálica con aproximación de 0.5 mm.

- ✓ **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se construyeron 4 especímenes de 600 mm x 600 mm.
- ✓ Se diseñó y elaboro el mortero de manera analítica con las proporciones indicadas en la NTP 399.610.
- ✓ Al momento de la construcción se controló la verticalidad con un nivel y plomada.
- ✓ Se realizó el curado según lo indicado en la NTP 399.621.
- ✓ El ensayo de compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 28 días de edad.
- ✓ El registro del peso de cada murete se realizó mediante una balanza con capacidad de 300 Kg, con una aproximación de 0.01 g.
- ✓ Los muretes se transportaron manualmente y con cuidado hasta la maquina universal con péndulo.
- ✓ Luego se colocó el murete con los ángulos de acero en los extremos, debidamente plomado, se colocaron con cuidado dos "L" en el muro y anexados a soportes universales se colocaron deformímetros para poder medir la deformación vertical y Se empezó aplicar la cargar a una velocidad de 1 Ton/min.

➤ **Cálculos:**

**Esfuerzo cortante:** Calcular el esfuerzo cortante en los muretes sobre la base del área bruta de la diagonal cargada, como sigue:

$$V_m = \frac{0.707P}{A_b}$$

Donde:

V<sub>m</sub>: Esfuerzo cortante sobre el área bruta, en MPa

P: Carga aplicada, en Kg

A<sub>b</sub>: Área bruta del espécimen, en cm<sup>2</sup>, calculado como sigue:

$$A_b = \frac{l + h}{2} xt$$

Donde:

l: Largo del murete, en cm;

h: Altura del murete, en cm y

t: Espesor total del murete, en cm

**Módulo de corte:** Calcular el módulo de corte como sigue:

$$G_m = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A_{diagonal}}{(\epsilon_{H50\%} - \epsilon_{H10\%})/L_{Hi} + (\epsilon_{V50\%} - \epsilon_{V10\%})/L_{Vi}}$$

Donde:

P<sub>50%</sub> y P<sub>10%</sub>: Carga axial al 50% y al 10%.

ε<sub>H50%</sub> y ε<sub>H10%</sub>: Deformación Horizontal al 50% y al 10%.

ε<sub>V50%</sub> y ε<sub>V10%</sub>: Deformación Vertical al 50% y al 10%.

A diagonal: Área diagonal.

L<sub>Hi</sub> y L<sub>Vi</sub>: longitud inicial Horizontal y vertical respectivamente

➤ **Expresión de resultados:**

Los resultados se muestran en el capítulo IV.



**Imagen N° 44:** Ensayo de compresión diagonal de muretes  
Fuente: Fotografía propia

### 3.8. MORTERO

LA función principal del mortero en la albañilería es unir las unidades, corrigiendo las irregularidades geométricas de altura que estas tienen, así como sellar las juntas contra la penetración del aire y de la humedad. El mortero generalmente está compuesto por cemento Portland tipo I o puzolánico IP, arena gruesa y agua, el uso de cal hidratada normalizada es recomendable pero optativo. (San Bartolomé, A; Quiun, D & Silva, W. 2011).

#### 3.8.1. DISEÑO DEL MORTERO

El diseño del mortero se realizó analíticamente, con los datos obtenidos de la granulometría de la arena A de la cantera La Victoria, cemento portland tipo I y agua.

De acuerdo a la Norma NTP 399.610-2013 o la ASTM C 270-2014, se diseñó para muros portantes por lo que, el mortero es el tipo S, en proporciones de 1:4 (cemento: arena). Ver diseño de mortero en Anexo VII.

#### 3.8.2. COMPRESIÓN EN ESPECIMENES CUBICOS DE MORTERO

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión del mortero de acuerdo a la NTP 334.051-2013 o su equivalente ASTM C 109-2013. La resistencia a compresión  $f_c$  se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta en los testigos cúbicos de 5 x 5 x 5 cm de; y la resistencia a compresión característica del mortero  $f'_c$  se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados.

$$f_c = \frac{\text{Carga Máx.}}{\text{Área Bruta}}$$

$$f'_c = f_c - \sigma$$

Donde:

$f_c$ : Resistencia promedio a compresión, kg/cm<sup>2</sup>

$f'_c$ : Resistencia característica a compresión, kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$ : Desviación estándar, kg/cm<sup>2</sup>

## *Capítulo IV*



---

# *Análisis y discusión de resultados*

## CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de tablas, fotos y gráficos, se presenta el respectivo análisis de resultados de los ensayos detallados en el Capítulo III. El análisis y discusión de los resultados se presentan a continuación

### 4.1. ELECCION DEL TIPO DE ARENA

En el presente estudio solo se utilizó arena de una sola cantera, pero con diferentes granulometrías, esto debido a que la granulometría del agregado fino es uno de los parámetros que afecta a la resistencia del Concreto Celular, es por ello que la granulometría varió en función a la densidad del Concreto Celular, se tomó esta decisión en base a la experiencia de muchos fabricante de aditivos espumantes y de prefabricados de Concreto Celular, quienes recomiendan usar diferentes granulometrías en base a la densidad del Concreto Celular. Las granulometrías usadas en esta investigación se detallan a continuación:

**Arena A:** Para elaborar Concreto Celular de densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>, se optó por una granulometría del agregado fino con un tamaño máximo de partículas de 3 mm. El material previamente fue seleccionado y reducido al tamaño de partículas deseado. Para este tipo de arena se obtuvo un módulo de finura de 2.44.

**Arena B:** Para elaborar Concreto Celular de densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>, se optó por una granulometría del agregado fino con un tamaño máximo de partículas de 6 mm. El material previamente fue seleccionado y reducido al tamaño de partículas deseado. Para este tipo de arena se obtuvo un módulo de finura de 2.64.

**Arena C:** Para elaborar Concreto Celular de densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>, se optó por una granulometría del agregado fino con un tamaño máximo de partículas de 9 mm. El material previamente fue seleccionado y reducido al tamaño de partículas deseado. Para este tipo de arena se obtuvo un módulo de finura de 2.78.

Analizados los resultados para las tres granulometrías usadas, como se observa en el Gráfico 23, 24 y 25 (Anexo I), las curvas granulométricas se encuentran dentro de los límites previstos en el ASTM C 33, sin embargo no presenta una distribución apropiada de partículas. El módulo de finura de la arena A, B y C está dentro de límites previsto por la norma ASTM C 125 (2,3 a 3,1).

Se calcula el coeficiente de uniformidad y de curvatura de acuerdo al gráfico de granulometría de cada arena y según la siguiente fórmula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

**Tabla N° 34:** Determinación del coeficiente de uniformidad

ITEM	D10(mm)	D30(mm)	D60(mm)	Cu	Cc
Arena A	0.19	0.39	0.73	3.84	1.10
Arena B	0.20	0.38	0.74	3.70	0.98
Arena C	0.19	0.39	0.70	3.68	1.11

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA

Se determinó el diámetro de dispersión de doce tandas de Concreto Celular con y sin aditivos y/o fibras de polipropileno para cada tipo de densidad aparente, cuatro para cada densidad, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 35:** Resultados de diámetros de dispersión de la mezcla según la densidad del Concreto Celular

Densidad Aparente	N° de Tanda	Relación a/c	Diámetro de dispersión(cm)	Aditivo	Fibra
1000 kg/m <sup>3</sup>	Tanda (EAF) N°1	0.454	22.30	SI	SI
	Tanda (EA) N°2	0.454	23.10	SI	NO
	Tanda (EF) N°3	0.504	22.00	NO	SI
	Tanda (E) N°4	0.502	22.50	NO	NO
1200 kg/m <sup>3</sup>	Tanda (EAF) N°5	0.462	21.50	SI	SI
	Tanda (EA) N°6	0.460	22.50	SI	NO
	Tanda (EF) N°7	0.496	21.00	NO	SI
	Tanda (E) N°8	0.504	21.80	NO	NO
1400 kg/m <sup>3</sup>	Tanda (EAF) N°9	0.468	20.50	SI	SI
	Tanda (EA) N°10	0.468	21.00	SI	NO
	Tanda (EF) N°11	0.514	20.00	NO	SI
	Tanda (E) N°12	0.521	20.50	NO	NO

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa en la **Tabla N° 35** que los diámetros de dispersión de las mezclas son inversamente proporcionales a las densidades de las mismas, es decir que mientras más aumenta la densidad menor es el diámetro de dispersión. Analizando cómo influye la presencia de fibras y aditivos en la mezcla, notamos que en todas las tandas

realizadas los diámetros de dispersión son menores para la dosificación EF (espuma+ fibra), aumenta un poco más en la dosificación EAF (espuma + aditivo + fibra), para luego aumentar más aun en la dosificación E (espuma) y finalmente alcanzar el mayor diámetro de dispersión en la dosificación EA (espuma + fibra). En cuanto a la influencia de la relación a/c en la dispersión del diámetro de la mezcla se observó que a mayor relación a/c mayor es el diámetro de dispersión, sin embargo la variación con respecto a las mezclas si aditivo y con aditivo plastificante fue mínima logrado similares diámetros de dispersión, esto se debe a que cuando se adicionaba el aditivo la relación a/c disminuía pero no el diámetro de dispersión y cuando no se adicionó el aditivo la relación a/c aumentaba hasta lograr una buena trabajabilidad y se obtenían diámetros de dispersión similares a las tandas donde se adicionó aditivo plastificante.

Entonces de acuerdo a los resultados analizados podemos verificar que ninguna de las tandas presento diámetros de dispersión fuera del rango de 20 -30 cm establecido en la ASTM D 6103-97 y por ende concluir que la fluidez de las mezclas ha sido la correcta, esto indica que al momento de vaciar la mezcla no se necesitará vibrar la misma.



*Imagen N° 45: Ensayo de consistencia del Concreto Celular*  
Fuente: Fotografía propia

### **4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DE MEZCLA**

#### **4.3.1. PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO Y CONTENIDO DE AIRE**

Se determinó el contenido de aire mediante el método de ensayo ASTM D6023, basado en el ensayo ASTM C138 de doce tandas de Concreto Celular con y sin

aditivos y/o fibras, cuatro tandas por cada densidad aparente del Concreto Celular, luego se calculó el promedio, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 36:** Resultados de peso unitario en estado fresco y contenido de aire de las mezclas de Concreto Celular

Densidad Aparente	N° de Tanda	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Teórica (kg/m <sup>3</sup> )	% de aire incorporado	Prom. % aire incorporado
1000 [kg/m <sup>3</sup> ]	Tanda (EAF) N°1	1124.80	2217.51	49.28	48.79
	Tanda (EA) N°2	1158.70	2218.99	47.78	
	Tanda (EF) N°3	1135.47	2223.11	48.92	
	Tanda (E) N°4	1130.60	2224.60	49.18	
1200 [kg/m <sup>3</sup> ]	Tanda (EAF) N°5	1267.58	2266.78	44.08	43.87
	Tanda (EA) N°6	1250.99	2268.10	44.84	
	Tanda (EF) N°7	1287.5	2271.70	43.32	
	Tanda (E) N°8	1290.5	2273.02	43.23	
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	Tanda (EAF) N°9	1560.25	2302.27	32.23	33.30
	Tanda (EA) N°10	1550.45	2303.45	32.69	
	Tanda (EF) N°11	1504.12	2306.63	34.79	
	Tanda (E) N°12	1534.85	2307.82	33.49	

*Fuente: Elaboración propia*

Para la determinación del porcentaje de aire incorporado de acuerdo a la norma ASTM D 6023 (método gravimétrico), se procedió, en primer lugar, al cálculo del peso unitario en estado fresco del Concreto Celular y luego al cálculo de la densidad teórica (sin considerar vacíos). Se puede observar según los resultados obtenidos que la adición de espuma preformada reduce considerablemente la densidad del concreto, logrando la densidad deseada de acuerdo a la cantidad de espuma incorporada. Mientras menor sea la densidad deseada mayor será el porcentaje de espuma preformada que se adiciona a la mezcla y por consiguiente mayor será el contenido de aire incorporado. La **Tabla N° 36** muestra que para una densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup> el contenido de aire es de 48.79%, para 1200 kg/m<sup>3</sup> el contenido de aire es de 43.87% y para 1400 kg/m<sup>3</sup>, es de 33.30%.

#### 4.3.2. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO

Se determinó el peso unitario de todos los especímenes de Concreto Celular para cada densidad y dosificación, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

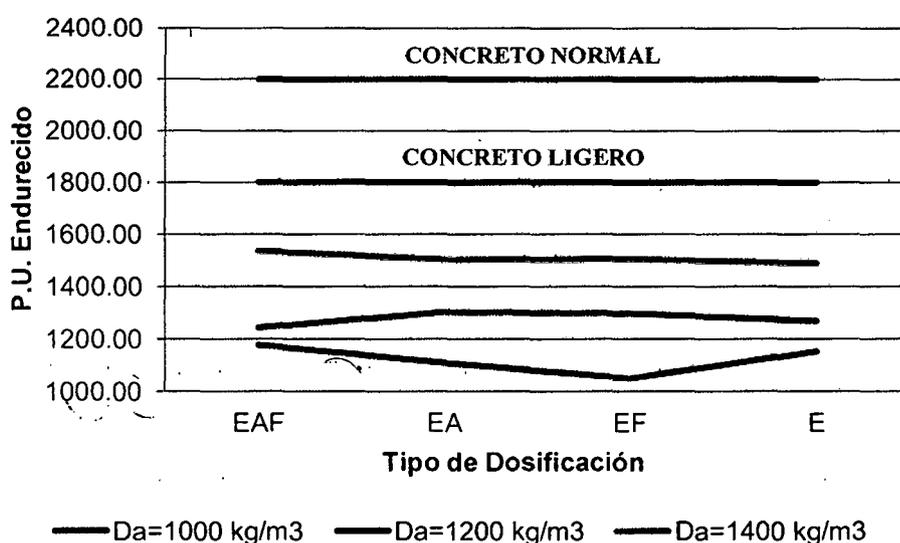
**Tabla N° 37:** Resultados de peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Celular

Densidad aparente	Dosificación	P.U. [kg/m <sup>3</sup> ]	Promedio P.U. [kg/m <sup>3</sup> ]
1000 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	1174.78	1120.56
	EA	1106.84	
	EF	1048.95	
	E	1151.66	
1200 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	1241.12	1274.81
	EA	1299.14	
	EF	1294.48	
	E	1264.48	
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	1535.29	1507.20
	EA	1501.94	
	EF	1503.80	
	E	1487.76	

*Fuente: Elaboración propia*

En la **Tabla N° 37** se muestra que el promedio del peso unitario del Concreto Celular en estado endurecido para las diferentes densidades, obtenido a partir de la determinación del peso y medidas de los especímenes ensayados, el peso unitario promedio del Concreto Celular en estado endurecido fue de 1120.56 kg/m<sup>3</sup>, 1274.81 kg/m<sup>3</sup> y 1507.20 kg/m<sup>3</sup>, para las densidades de 1000kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> y 1400 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, valores cercanos a las densidades de diseño.

**Grafico N° 13:** Peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Celular



*Fuente: Elaboración propia*

En el **Grafico N° 13** se muestra que la adición de espuma disminuye notablemente la densidad del concreto, nótese la variación de la densidad con respecto al concreto convencional y concreto ligero.

#### 4.4. ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADO EN ESPECIMENES CUBICOS

##### 4.4.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN

Se determinó la resistencia a la compresión de 108 especímenes cúbicos de Concreto Celular a diferentes edades con y sin la adición de fibra de polipropileno y aditivo plastificante, para las densidades de 1000 [kg/m<sup>3</sup>], 1200[kg/m<sup>3</sup>] y 1400 [kg/m<sup>3</sup>]. En la **Tabla N° 38** se muestra el promedio de los esfuerzos a la compresión, obtenidas en cubos ensayados a edades de 7, 14 y 28 días. En el **Grafico N° 14** se observa cuatro grupos de curvas que corresponden a las diferentes dosificaciones para las densidad aparente de 1000 [kg/cm<sup>3</sup>], de igual modo se observa en el **Grafico N° 15** y **Grafico N° 16** para densidades de 1200 [kg/cm<sup>3</sup>] y 1400 [kg/cm<sup>3</sup>], cada gráfica contiene cuatro curvas correspondientes a las dosificaciones: EAF (Espuma-Aditivo-Fibra), EA (Espuma-Aditivo), EF (Espuma-Fibra) y E (Espuma), denominados así por los componente principales de la mezcla.

**Tabla N° 38:** Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones

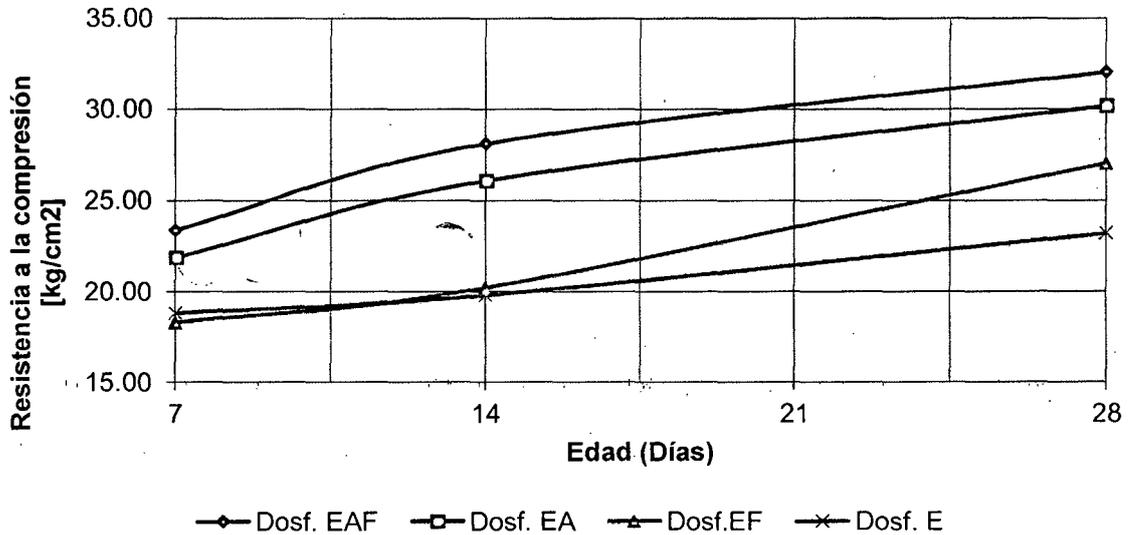
Densidad aparente	Dosificaciones	Resistencia a la compresión [kg/cm <sup>2</sup> ]		
		7 días	14 días	28 días
1000 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	23.34	28.07	32.01
	EA	21.84	26.05	30.17
	EF	18.30	20.19	26.99
	E	18.81	19.78	23.16
1200 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	32.95	42.51	47.80
	EA	32.57	42.82	43.97
	EF	26.05	32.62	35.67
	E	21.34	24.59	30.36
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	58.79	65.67	75.32
	EA	54.89	63.13	68.51
	EF	44.15	51.11	55.28
	E	42.59	50.91	53.55

*Fuente: Elaboración propia*

En el **Grafico N° 14** se desarrolla a la resistencia a compresión del Concreto Celular para la densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup> a las edades 7, 14 y 28 días con y sin la

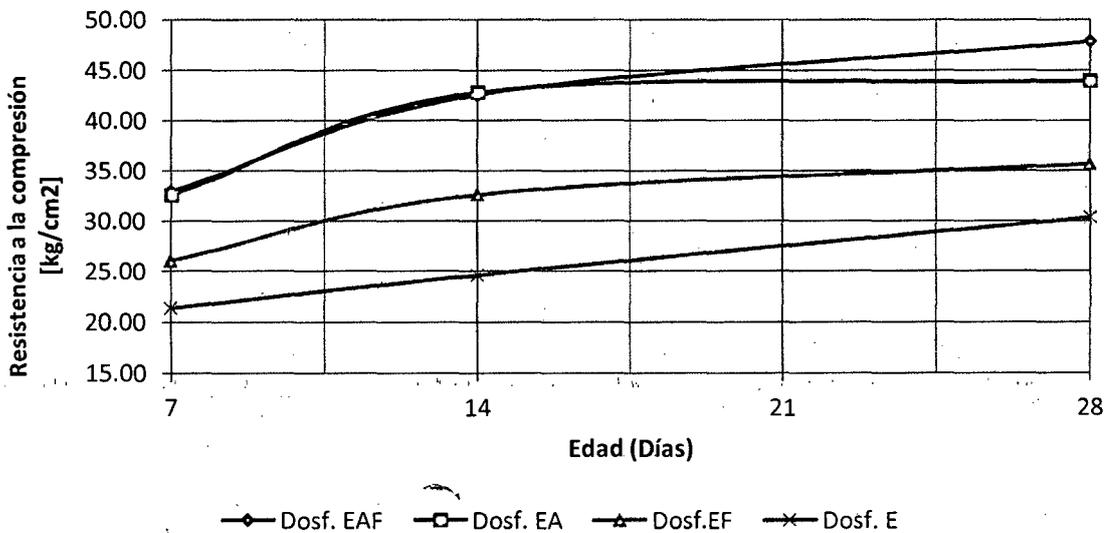
adición de fibra y aditivo, en este gráfico se puede observar que ante la adición de fibra y aditivo, los especímenes aumentaron su resistencia a la compresión, se observa también la caída significativa que tiene la resistencia a compresión del Concreto Celular para la dosificación E (solo espuma), comprobándose que la adición de aditivo y fibra incrementa la resistencia significativamente.

**Grafico N° 14:** Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1000 [Kg/m<sup>3</sup>]



Fuente: Elaboración propia

**Grafico N° 15:** Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1200 [Kg/m<sup>3</sup>]

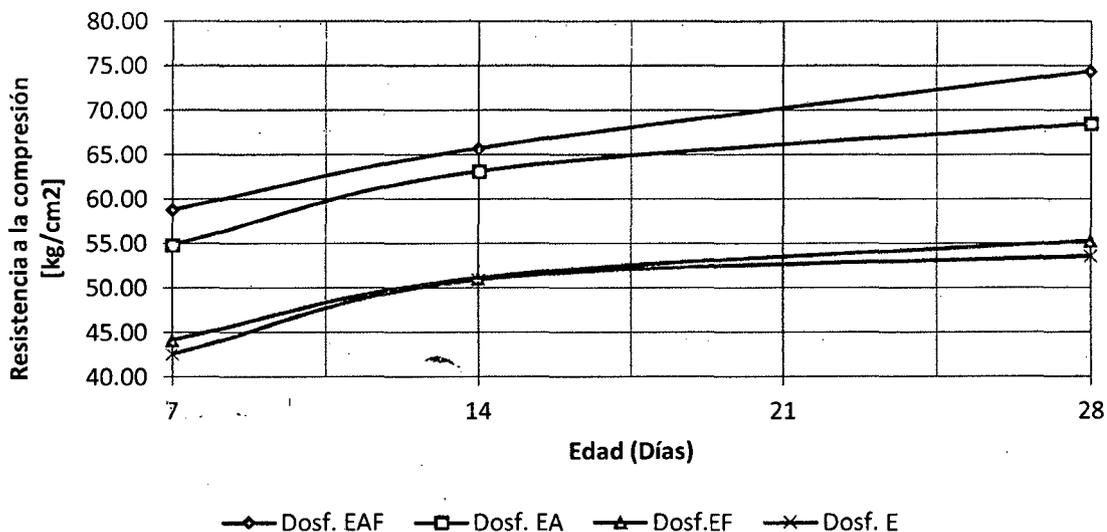


Fuente: Elaboración propia

En el **Grafico N° 15** y **Grafico N° 16** se desarrolla la resistencia a la compresión del Concreto Celular para la densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup> a las edades 7, 14 y 28

días con y sin la adición de fibra y aditivo, se evidencia al igual que en el gráfico anterior que las dosificaciones EAF y EA son las que más sobresalen en la resistencia a la compresión a lo largo de todo su tiempo desarrollo.

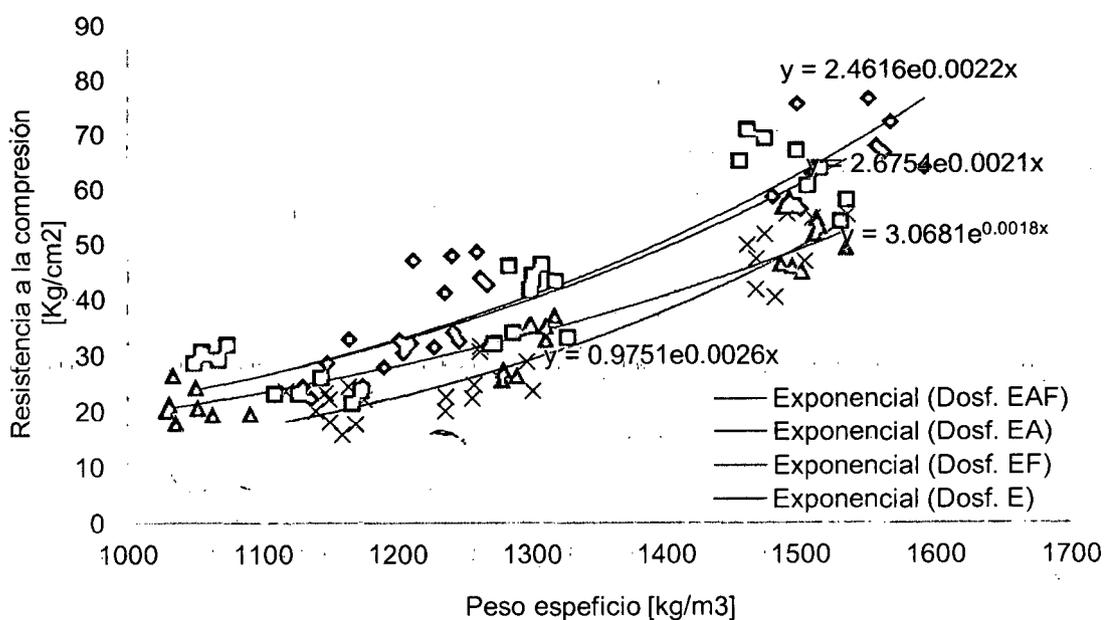
**Gráfico N° 16:** Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1400 [Kg/m<sup>3</sup>]



Fuente: Elaboración propia

El esfuerzo a la compresión aumenta con el peso específico como se observa en el Gráfico N° 17, esta tendencia depende de la densidad y del tipo de dosificación, los pesos específicos oscilan en el rango de 1000 a 1400 [kg/m<sup>3</sup>].

**Gráfico N° 17:** Tendencia de la resistencia a la compresión respecto al peso específico



Fuente: Elaboración propia



**Imagen N° 46:** Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos con diferentes dosificaciones

*Fuente: Fotografía propia*

#### 4.4.2. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

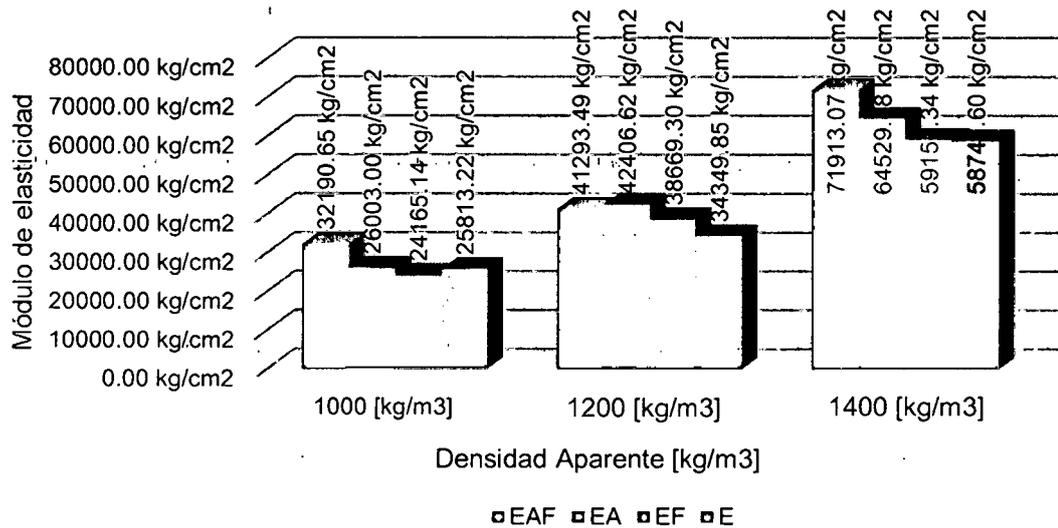
Se determinó el módulo de elasticidad del Concreto Celular a través de los métodos establecidos por el ACI 318 y la norma ASTM C469 para las diferentes densidades y dosificaciones del Concreto Celular, los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla N° 39:** Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ACI 318

Densidad Aparente	Tipo de mezcla	EDAD DE ENSAYO		
		7 Días	14 Días	28 Días
1000 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	25743.45 kg/cm <sup>2</sup>	29516.51 kg/cm <sup>2</sup>	32190.65 kg/cm <sup>2</sup>
	EA	24472.84 kg/cm <sup>2</sup>	26463.02 kg/cm <sup>2</sup>	26003.00 kg/cm <sup>2</sup>
	EF	20362.48 kg/cm <sup>2</sup>	20599.53 kg/cm <sup>2</sup>	24165.14 kg/cm <sup>2</sup>
	E	23356.69 kg/cm <sup>2</sup>	23666.47 kg/cm <sup>2</sup>	25813.22 kg/cm <sup>2</sup>
1200 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	34105.64 kg/cm <sup>2</sup>	39771.87 kg/cm <sup>2</sup>	41293.49 kg/cm <sup>2</sup>
	EA	36526.41 kg/cm <sup>2</sup>	4166.60 kg/cm <sup>2</sup>	42406.62 kg/cm <sup>2</sup>
	EF	32168.85 kg/cm <sup>2</sup>	36604.13 kg/cm <sup>2</sup>	38669.30 kg/cm <sup>2</sup>
	E	27766.65 kg/cm <sup>2</sup>	31107.26 kg/cm <sup>2</sup>	34349.85 kg/cm <sup>2</sup>
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	60955.94 kg/cm <sup>2</sup>	69247.72 kg/cm <sup>2</sup>	71913.07 kg/cm <sup>2</sup>
	EA	60297.10 kg/cm <sup>2</sup>	63891.14 kg/cm <sup>2</sup>	64529.88 kg/cm <sup>2</sup>
	EF	52696.22 kg/cm <sup>2</sup>	58155.00 kg/cm <sup>2</sup>	59151.34 kg/cm <sup>2</sup>
	E	51228.30 kg/cm <sup>2</sup>	55381.19 kg/cm <sup>2</sup>	58747.60 kg/cm <sup>2</sup>

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 18:** Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ACI 318



*Fuente: Elaboración propia*

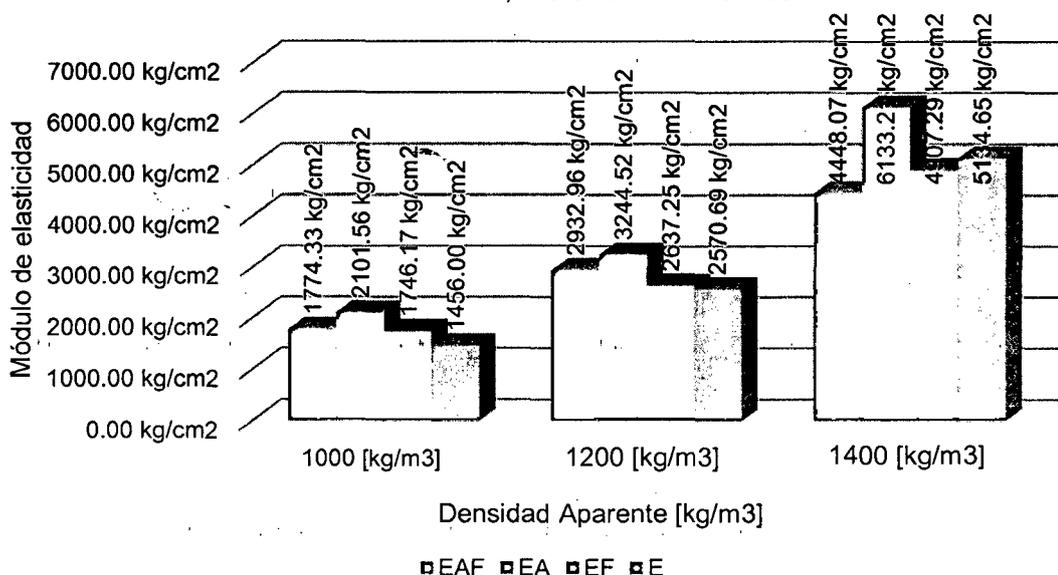
En la **Tabla N° 39** y en el **Grafico N° 18** se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y diferentes densidades, así como las diferentes dosificaciones, obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, se observa que para mayor densidad del Concreto Celular, el módulo de elasticidad aumenta, de igual manera se observa que de acuerdo a la dosificación utilizada el módulo de elasticidad varía, la adición de fibra y aditivo tiene un alto grado de importancia en el aumento de la resistencia a compresión del Concreto Celular y por consiguiente un mayor módulo de elasticidad.

**Tabla N° 40:** Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ASTM C 469

Densidad Aparente	Tipo de mezcla	EDAD DE ENSAYO		
		7 Días	14 Días	28 Días
1000 [kg/m³]	EAF	1251.21 kg/cm²	1610.89 kg/cm²	1774.33 kg/cm²
	EA	837.33 kg/cm²	1661.83 kg/cm²	2101.56 kg/cm²
	EF	516.02 kg/cm²	1071.82 kg/cm²	1746.17 kg/cm²
	E	499.49 kg/cm²	1102.11 kg/cm²	1456.00 kg/cm²
1200 [kg/m³]	EAF	2288.09 kg/cm²	2461.98 kg/cm²	2932.96 kg/cm²
	EA	2868.23 kg/cm²	2894.04 kg/cm²	3244.52 kg/cm²
	EF	1819.14 kg/cm²	2440.44 kg/cm²	2637.25 kg/cm²
	E	1679.91 kg/cm²	2130.83 kg/cm²	2570.69 kg/cm²
1400 [kg/m³]	EAF	4330.61 kg/cm²	5016.97 kg/cm²	4448.07 kg/cm²
	EA	4823.55 kg/cm²	5380.14 kg/cm²	6133.21 kg/cm²
	EF	4597.21 kg/cm²	4511.47 kg/cm²	4907.29 kg/cm²
	E	4297.44 kg/cm²	5029.94 kg/cm²	5134.65 kg/cm²

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 19:** Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Celular, método ASTM C 469



*Fuente: Elaboración propia*

En la **Tabla N° 40** y el **Grafico N° 19** se puede observar la variación del módulo de elasticidad del Concreto Celular para las diferentes densidades y dosificaciones obtenido mediante lo descrito por la ASTM C 469, se observa que la densidad y los componentes de la mezcla intervienen en la variación de los módulos de elasticidad.

Los módulos de elasticidad calculados con este método son menores en relación a los obtenidos por el método descrito en el reglamento ACI 318, para el caso de la densidad de 1000 [kg/m³] es del orden del 5.16 %, para la densidad de 1200 [kg/m³] es del orden de 7.51% y para la densidad de 1400 [kg/m³] es del orden de 8.07%. Esto se debe a que los resultados de deformaciones obtenidos en laboratorio, no son lo suficientemente precisas ya que no se cuenta con los aparatos y/o equipos óptimos para realizar este ensayo y por ende al realizar la lectura de las deformaciones visualmente no se puede realizar con la exactitud necesaria.

#### 4.4.3. ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

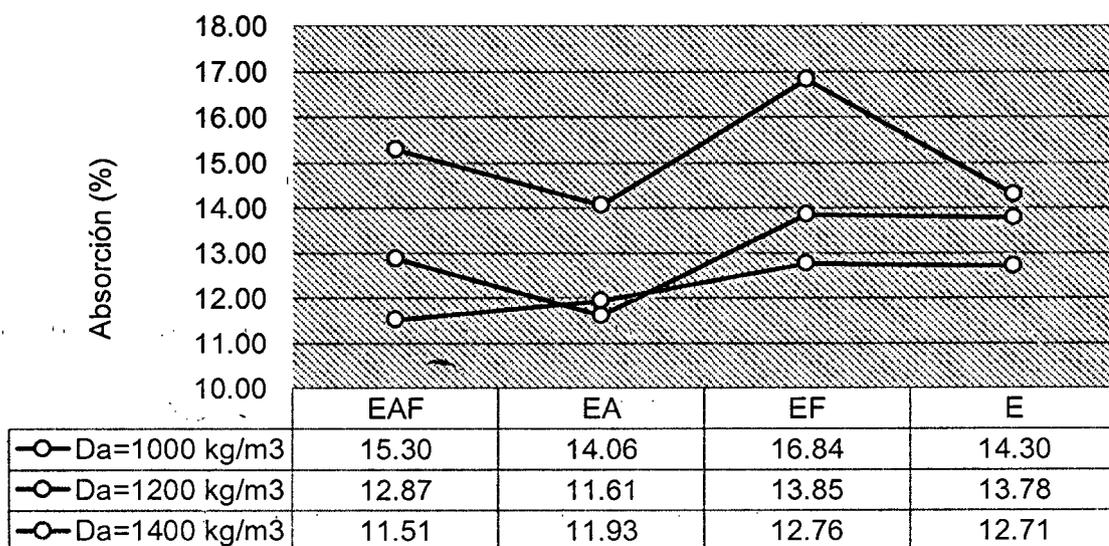
Se determinó el peso específico y el porcentaje de absorción de 36 especímenes cúbicos de Concreto Celular a través del método establecido por la norma ASTM C 642, para las diferentes densidades y dosificaciones del Concreto Celular, los datos promedio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 41: Promedio de resultados del ensayo de densidad y absorción de especímenes cúbicos de Concreto Celular

Densidad Aparente	Dosificación	Absorción		Peso especifico
		%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
1000 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	15.30	162.89	1064.94
	EA	14.06	144.74	1028.45
	EF	16.84	159.97	949.95
	E	14.30	151.08	1057.24
1200 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	12.87	145.22	1129.23
	EA	11.61	139.73	1203.32
	EF	13.85	162.43	1174.21
	E	13.78	155.82	1130.66
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	11.51	163.86	1423.20
	EA	11.93	165.12	1383.79
	EF	12.76	171.05	1340.30
	E	12.71	172.43	1356.67

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 20: Promedio de resultados del ensayo de absorción de especímenes cúbicos de Concreto Celular

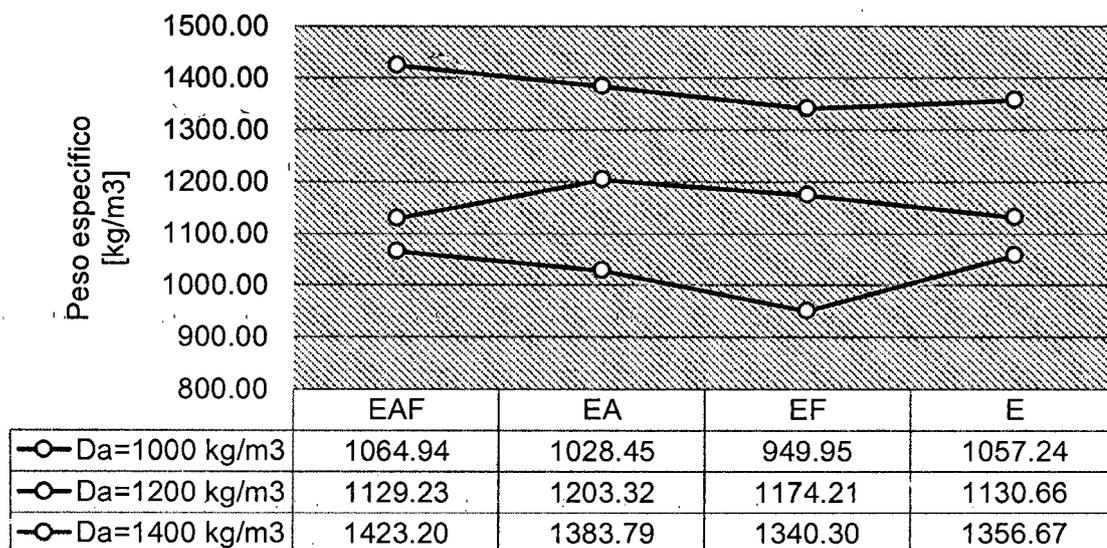


Fuente: Elaboración propia

El Grafico N° 20 muestra los resultados del ensayo de absorción, como es notorio la absorción en el Concreto Celular es inversamente proporcional a su densidad, es decir que a menor densidad mayor será el porcentaje de absorción, debido principalmente a que el porcentaje de poros o vacíos es mayor en densidades menores, esto genera un mayor grado de saturación y por ende mayor absorción. Se observa también que

independientemente de las dosificaciones el porcentaje de absorción es variado, no presentando una tendencia.

**Grafico N° 21:** Promedio de resultados del ensayo de peso específico de especímenes cúbicos de Concreto Celular



*Fuente: Elaboración propia*

Al ser el peso específico del Concreto Celular una de las principales variables estudiadas en esta investigación fue necesario determinar de acuerdo a la densidad de diseño o aparente, como variaba los pesos específicos finales del Concreto Celular.

Los resultados se observan en el **Grafico N° 21**, analizando el gráfico notamos que el peso específico es independiente del tipo de dosificación y no presenta una tendencia, se observa también que los pesos específicos están por debajo y encima de las densidades de diseño, esto se debe principalmente a que al momento del mezclado la cantidad y calidad de la espuma utilizada influyó directamente en la peso específico final, ya que las variaciones de la cantidad de espuma suministrada hace variar notoriamente el peso específico final del Concreto Celular.

## 4.5. ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADOS EN BLOQUES DE CONCRETO CELULAR

### 4.5.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Se determinó la resistencia a la compresión simple de 15 bloques de Concreto Celular a diferentes edades, a través del método establecido por la NTP 399.604, los resultados obtenidos fueron contrastados con los requisitos de resistencia a la compresión en bloques de concreto de acuerdo a la NTP 399.600 y la NTP 399.602.

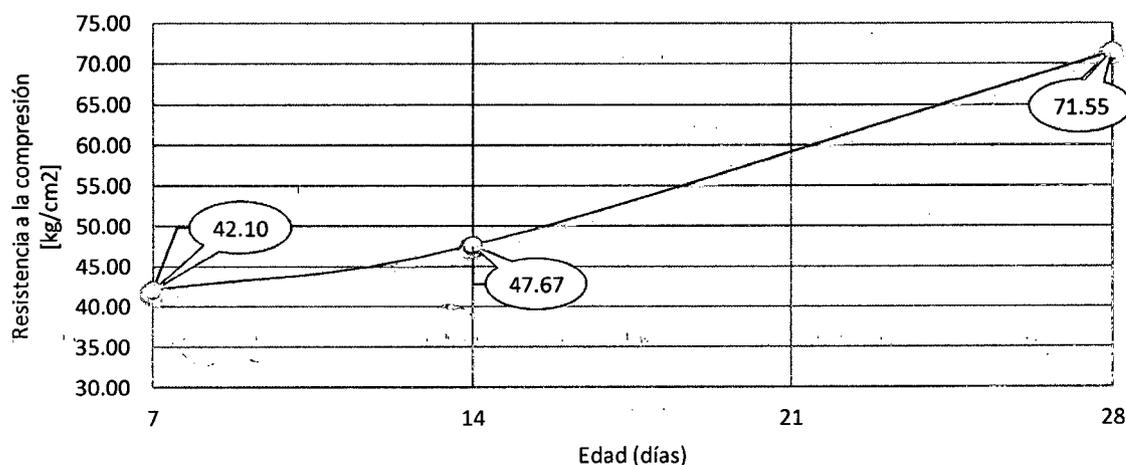
Los resultados promedio se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 42:** Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Celular (BCC)

Densidad aparente	Dosificación optima	Un	Edad de Ensayo		
			7	14	28
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	kg/cm <sup>2</sup>	42.10	47.67	71.55
		MPa	4.13	4.67	7.02

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 22:** Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Celular (BCC)



—○— Densidad aparente= 1400 [kg/m<sup>3</sup>]

*Fuente: Elaboración propia*

Según la NTP 399.602 los bloques de concreto para uso estructural deben tener una resistencia a la compresión mínima a los 28 días de 6 MPa, analizando el **Grafico N° 22** observamos que los bloques de Concreto Celular elaborados en este estudio alcanzan una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de 7.02

MPa (71.55 kg/cm<sup>2</sup>), por lo que cumplen con los requisitos mínimos de resistencia a la compresión para unidades de albañilería de uso no estructural y de uso estructural.



*Imagen N° 47: Ensayo de resistencia a la compresión simple en bloques de Concreto Celular a la edad de 28 días*

*Fuente: Fotografía propia*

#### 4.5.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

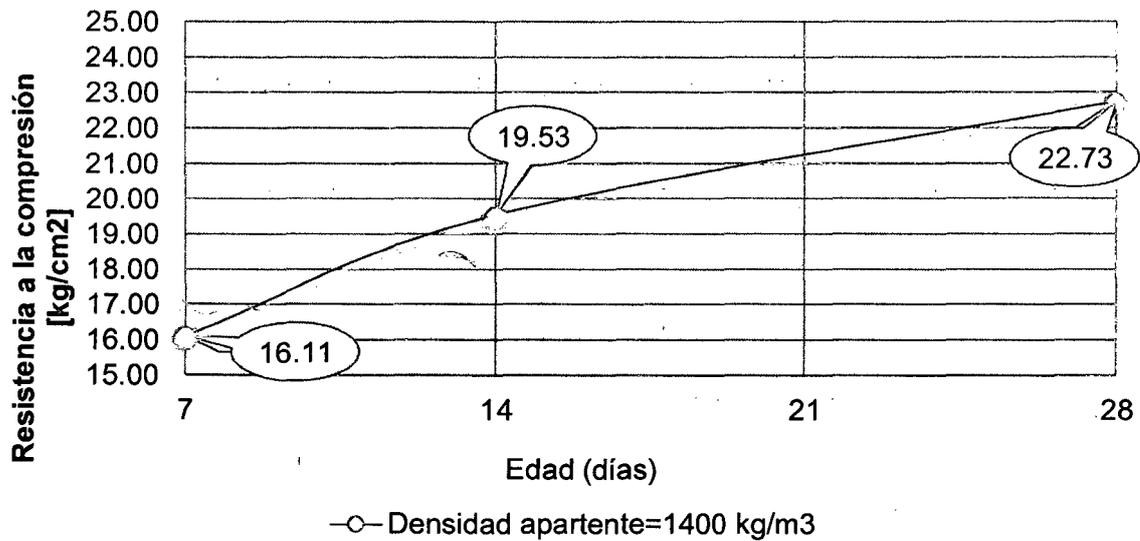
Se determinó la resistencia a la tracción por flexión de 09 bloques de Concreto Celular a diferentes edades de acuerdo a la NTP 339.079. Los resultados promedio se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 43:** Promedio de resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular (BCC)

Densidad aparente	Dosificación optima	Unidad	Edad de Ensayo		
			7	14	28
1400 [kg/m <sup>3</sup> ]	EAF	kg/cm <sup>2</sup>	16.11	19.53	22.73
		MPa	1.58	1.91	2.23

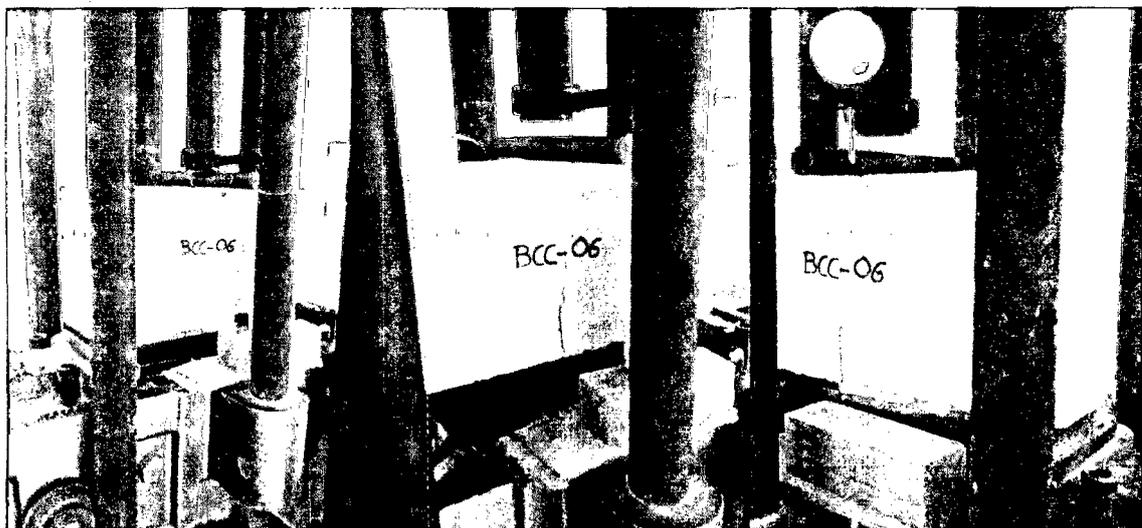
*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 23:** Promedio de resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular (BCC)



*Fuente: Elaboración propia*

Los valores expuestos en el **Grafico N° 23** son el promedio de los bloques de Concreto Celular ensayadas a flexión a la edad de 7,14 y 28 días, estos resultados corresponden a la dosificación óptima EAF-1.4 para una densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>. De los ensayos realizados a flexión, se observa que el esfuerzo a tensión es aproximadamente un 32.80% del esfuerzo a compresión, esto se debe a la presencia de fibras de polipropileno lo que le da mayor ductilidad al Concreto Celular, también se da ya que al ser un material de bajo peso específico y por poseer muchas cavidades en su configuración se produce grandes deformaciones.



**Imagen N° 48:** Ensayo de resistencia a la tracción por flexión- boque BCC-06 a la edad de 28 días  
*Fuente: Fotografía propia*

### 4.5.3. ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Se determinó el peso específico y la absorción de 07 bloques de Concreto Celular de acuerdo a la NTP 399.604. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 44: Resultados del ensayo de peso específico y absorción en bloques de Concreto Celular

Densidad Aparente	Clasificación	Absorción (%)		Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )
		%	kg/m <sup>3</sup>	
1400 kg/m <sup>3</sup>	BCC-01	7.36	103.92	1411.14
	BCC-02	6.87	97.87	1425.31
	BCC-03	10.48	139.41	1330.07
	BCC-04	10.13	137.85	1360.66
	BCC-05	8.69	119.03	1370.32
	BCC-06	10.94	146.19	1336.85
	BCC-06	10.27	137.93	1343.36
<b>Promedio</b>		<b>9.25</b>	<b>126.03</b>	<b>1368.24</b>

Fuente: Elaboración propia

En la *Tabla N° 44* se muestran los resultados del ensayo de peso específico y absorción de los bloques de Concreto Celular, se observa que el porcentaje de absorción promedio es de 9.25%, resultado que es menor al 12% que indica la NTP 399.602 para bloques de concreto, observamos también que el peso específico promedio de los bloques de Concreto Celular es de 1368.24 kg/m<sup>3</sup>, resultado que comparado con la densidad de los bloques huecos de concreto es aproximadamente 20% más liviano y comparado con los ladrillos de arcilla tradicionales es 30% más liviano.

## 4.6. ANÁLISIS DE ENSAYOS EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA

### 4.6.1. COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS

Se determinó la resistencia a compresión axial de 06 pilas de bloques de Concreto Celular de acuerdo a la NTP 399.605. Las pilas fueron elaboradas con 02 bloques de Concreto Celular con lo que se obtuvo una esbeltez promedio de 4.34. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 45: Resultados de resistencia a la compresión en pilas**

Especimen	fm	Factor de corrección por esbeltez	f'm corregida
	kg/cm2		kg/cm2
PCC-01	47.9008	1.1738	56.23
PCC-02	45.2137	1.1759	53.17
PCC-03	55.5072	1.1731	65.12
PCC-04	56.4908	1.1759	66.43
PCC-05	44.9201	1.1724	52.66
PCC-06	59.3965	1.1717	69.59
<b>fm promedio</b>			60.53 kg/cm2
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>			7.38 kg/cm2
<b>Resistencia característica (f'm)</b>			53.15 kg/cm2
<b>Coefficiente de variación (Cv)</b>			12.20 %

*Fuente: Elaboración propia*

Para la determinación de la resistencia, se utilizó como carga de rotura la máxima registrada, la resistencia unitaria se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área neta de la pila. En la **Tabla N° 45** se observa que se ha logrado una resistencia característica a la compresión de **53.15 kg/cm2**, obviamente este resultado se ve influenciado por la esbeltez de las pilas, es decir que a menor altura mayor resistencia de las pilas, la resistencia también se ve afectada por la geometría de los bloques usados.

El módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de las pilas se calculó del grafico esfuerzo unitario vs deformación unitaria, como la pendiente de la recta que unía a dos puntos correspondientes al 10% y 50% de esfuerzos de rotura. Los resultados están contenidos en la siguiente tabla:

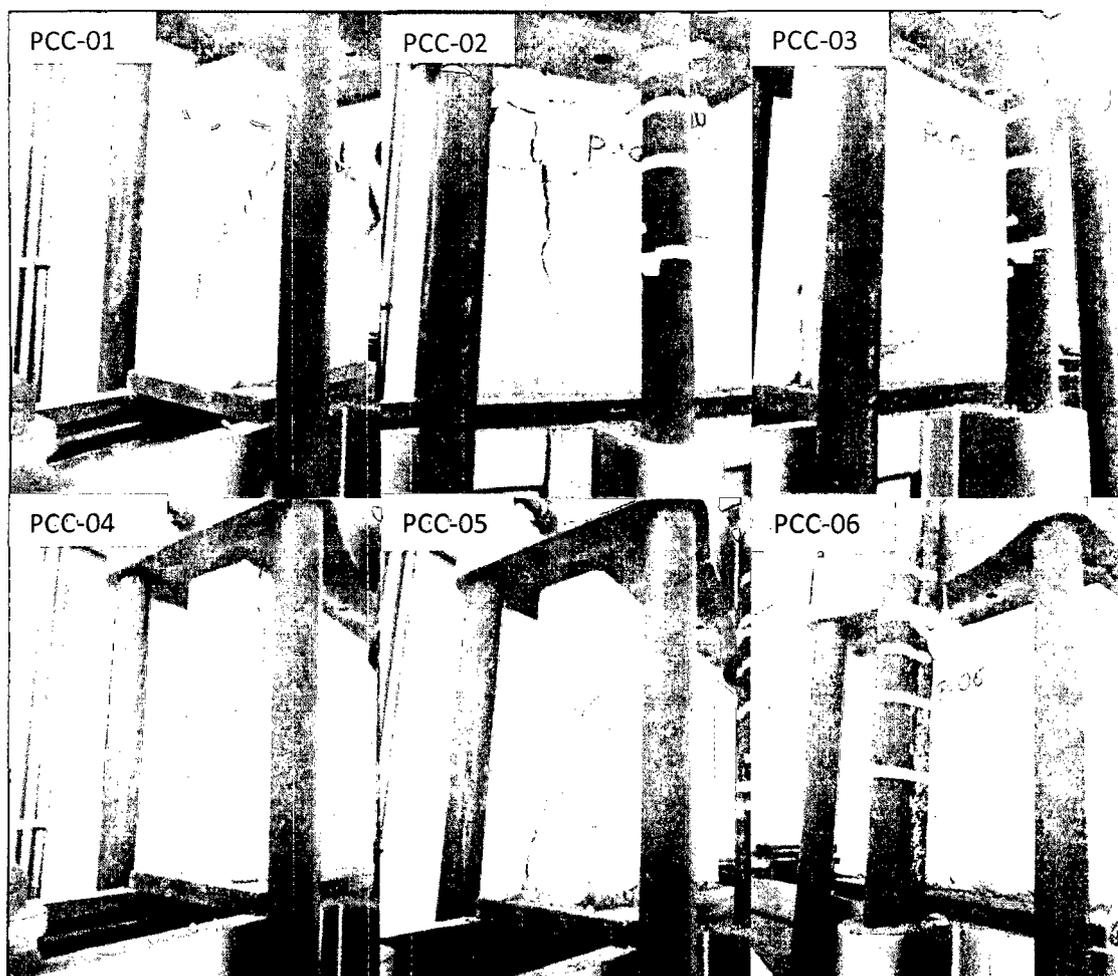
**Tabla N° 46: Resultados de Modulo de Elasticidad de Pilas**

Especimen	Módulo de Elasticidad ( $E_m$ )
	(kg/cm2)
PCC-01	8077.49
PCC-02	8622.28
PCC-03	13186.56
PCC-04	8877.14
PCC-05	6925.44
PCC-06	6029.19
<b>Promedio</b>	<b>8619.68</b>

*Fuente: Elaboración propia*

La **Tabla N° 46** se presenta los resultados de Módulo de Elasticidad obtenidos en las pilas de Concreto Celular, se obtuvo en promedio un módulo de elasticidad de 8619.68 kg/cm<sup>2</sup>.

Analizando los tipos de fallas en las pilas elaboradas, se obtuvo similares fallas en todas las pilas, el tipo de falla se presentó como una grieta vertical que cortó a la unidad y el mortero como se observan en la siguiente fotografía.



**Imagen N° 49:** Tipos de fallas en pilas de bloques de Concreto Celular  
*Fuente: Fotografía propia*

#### **4.6.2. COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES**

Se determinó la resistencia a compresión diagonal en 04 muretes de acuerdo a la NTP 399.621, los muretes fueron elaborados con bloques de Concreto Celular y fueron de aproximadamente de 60 cm x 60 cm. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 47: Resultados de ensayos de compresión diagonal en muretes**

Especimen	Vm	
	kg/cm2	
MCC-01	5.56	
MCC-02	6.82	
MCC-03	6.01	
MCC-04	6.32	
Vm Promedio	6.18	kg/cm2
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.53	kg/cm2
Resistencia al corte (V'm)	5.65	kg/cm2
Coefficiente de variación (Cv)	8.59	%

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo a la **Tabla N° 47** la resistencia característica a compresión diagonal en los muretes ensayados es 5.65 kg/cm2. Para efectos de diseño según la E.070 el valor de V'm no será mayor que  $0.319\sqrt{f'_m} \text{ MPa}$  ( $\sqrt{f'_m} \text{ kg/cm2}$ ), entonces de acuerdo a lo anterior V'm de diseño no será mayor que  $\sqrt{53.15} \text{ kg/cm2} = 7.29 \text{ kg/cm2}$ , por lo que para el diseño se debe tomar la resistencia característica V'm obtenida de los ensayos.

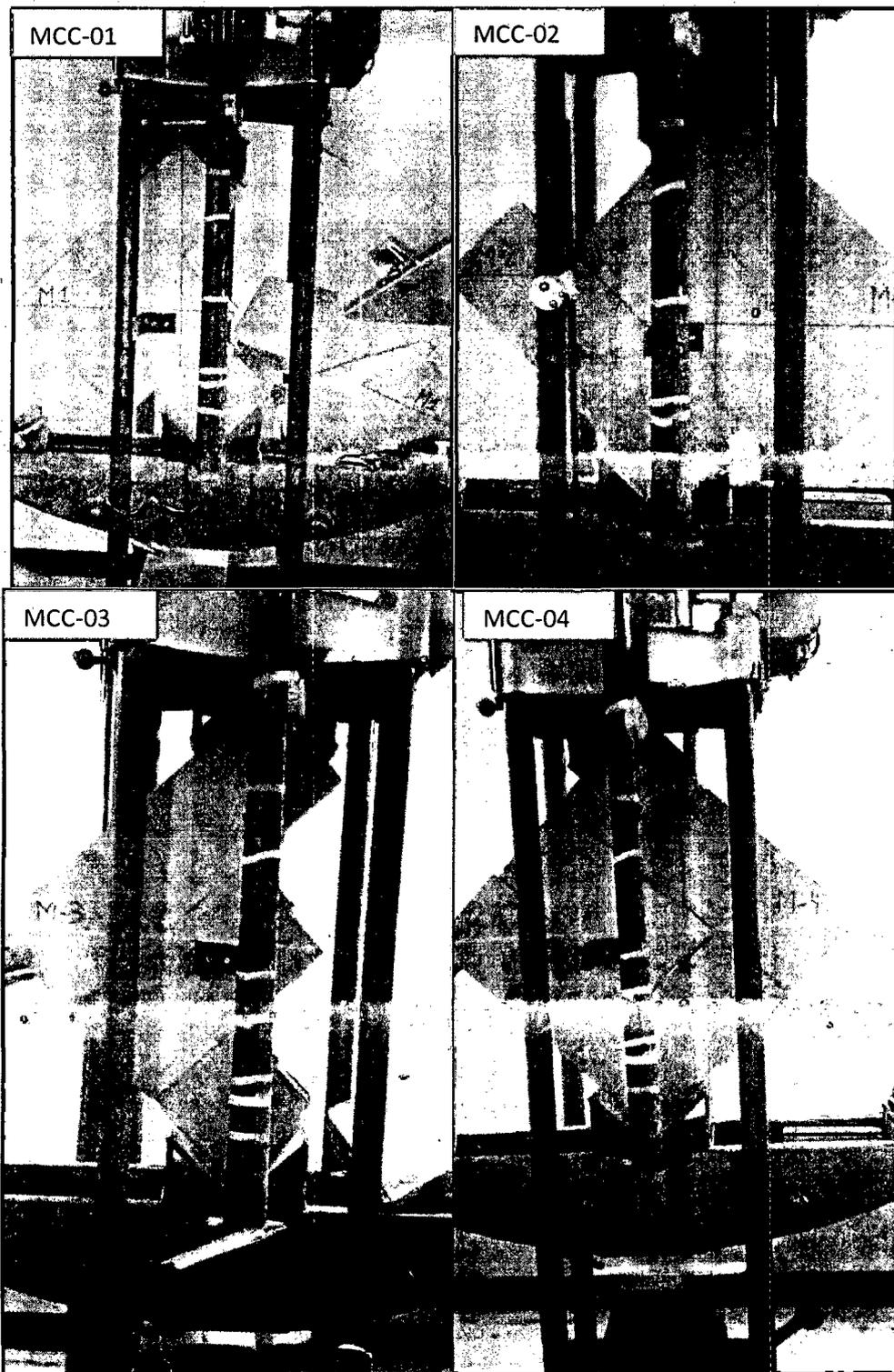
**Tabla N° 48: Resultados del Módulo de Corte en muretes**

Especimen	Módulo de Corte (Gm)	Promedio (Gm), kg/cm2
	kg/cm2	
MCC-01	2136.77	2126.97
MCC-02	2130.22	
MCC-03	1977.35	
MCC-04	2263.56	

*Fuente: Elaboración propia*

La **Tabla N° 48** muestra los resultados del Módulo de Corte (Gm) en los muretes ensayados, el módulo de elasticidad promedio que se obtuvo fue de 2126.97 kg/cm2.

Analizando los tipos de fallas en los muretes, se puede observar y constatar que los muretes MCC-01, MCC-03 y MCC-04 la falla fue escalonada y para el murete MCC-02 la falla fue por deslizamiento o cizalle, lo que implica que la adherencia entre unidad y mortero ha sido débil.



**Imagen N° 50:** Tipos de fallas en muretes de bloques de Concreto Celular  
**Fuente:** Fotografía propia.

#### 4.7. ANÁLISIS DEL MORTERO

Se determinó la resistencia a compresión 20 especímenes cúbicos del mortero usado para unir los bloques y construir las pilas y muretes, este ensayo fue realizado de acuerdo a la NTP 334.051 o su equivalente ASTM C 109. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 49: Resistencia a la compresión de especímenes cúbicos de mortero

Especímen	Resistencia del mortero MPa (28 días)	Resistencia del mortero kg/cm <sup>2</sup> (28 días)
C- 1	15.38	156.86
C- 2	14.83	151.21
C- 3	16.40	167.24
C- 4	15.12	154.20
C- 5	15.19	154.94
C- 6	14.98	152.73
C-7	14.87	151.58
C- 8	14.75	150.39
C- 9	14.13	144.14
C- 10	15.05	153.48
C- 11	14.50	147.87
C- 12	14.42	147.03
C- 13	15.27	155.71
C- 14	14.52	148.06
C- 15	14.45	147.38
C- 16	16.14	164.55
C- 17	14.47	147.60
C-18	14.23	145.06
C-19	14.75	150.39
C- 20	14.82	151.15
<b>Promedio resistencia <math>f_c</math></b>	<b>14.91 MPa</b>	<b>152.08 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>	<b>0.58 MPa</b>	<b>5.89 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Resistencia compresión <math>f_c</math></b>	<b>14.34 MPa</b>	<b>146.19 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	<b>3.9%</b>	<b>3.9%</b>

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 49 nos indica que ha tenido una resistencia de 146.19 Kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo con el diseño.

#### 4.8. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONOMICO

Con el objetivo de determinar la factibilidad de producción de los bloques de Concreto Celular y su posible implementación dentro de la construcción se realizó una estimación de costos de producción de los mismos, para posteriormente realizar una comparación técnica y económica con los bloques de concreto convencional y ladrillos artesanales de arcilla cocida.

En la **Tabla N° 50** se detalla la cantidad y el costo real de los materiales que contiene el bloque de Concreto Celular, los costos de producción pertenecen a la ciudad de Cajamarca, Perú.

**Tabla N° 50:** Costos de fabricación del bloque de Concreto Celular

<b>BLOQUE DE CONCRETO CELULAR 09X19X39 cm</b>				
Peso aprox. Bloque	9.357	kg		
Peso Especifico	1445.46	kg/m3		
<b>Materiales</b>	<b>Und.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U</b>	<b>Parcia (S/.)</b>
Cemento	bls/bloque	0.0602	22.50	1.3553
Arena	m3/bloque	0.00247	40.00	0.0987
Agua	m3/bloque	0.0010	5.00	0.0051
Aditivo espumante	lt/bloque	0.0055	4.25	0.0233
Agua en el aditivo espumante	m3/bloque	0.00021	5.00	0.0011
Fibra de polipropileno	bls/bloque	0.01	24.50	0.1362
Aditivo plastificante	lt/bloque	0.02	8.00	0.1640
<b>Mano de obra</b>	<b>Und.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U</b>	<b>Parcia (S/.)</b>
Operario	hh/bloque	0.025	10.13	0.25325
Peón	hh/bloque	0.025	8.25	0.20625
Herramientas manuales 3%	%MO	0.03	0.4595	0.013785
<b>COSTO TOTAL POR BLOQUE</b>				<b>2.26</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El costo de elaboración del bloque de Concreto Celular es más alto que del bloque de concreto normal comercializado en la ciudad de Cajamarca, esto se debe al incremento de cemento así como fibras y aditivos. Cabe mencionar que el incremento del precio por unidad se ve contrarrestado por las mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de Concreto Celular y reducción del peso de los muros de albañilería (ver **Tabla N° 52**), además que los costos globales de construcción de muros son menores como se detalla en la **Tabla N° 54**.

**Tabla N° 51: Rendimiento de la mano de obra y materiales para albañilería**

Unidad de albañilería	Espesor de muro (m)	Rendimiento		Personal		Rendimiento	
		Und.	m2	Peón	Oper.	Peón	Oper.
Ladrillo de arcilla cocida 08x13x21	0.15	400	11	0.5	1	0.364	0.727
Bloques de concreto 12x20x40	0.15	150	12	0.5	1	0.333	0.667
Bloques de Concreto Celular 09x19x39	0.09	150	15	0.5	1	0.267	0.533

*Fuente: Elaboración propia*

La Tabla N° 51 muestra el rendimiento de la mano de obra y materiales para la construcción de muros de albañilería, el rendimiento de para muros de bloques de Concreto Celular es de 15m<sup>2</sup> por día, debido a la menor cantidad de movimientos necesario para levantar un metro cuadrado. Se logra aumentar el rendimiento por m<sup>2</sup> de muro construido, en 36% respecto a los ladrillos de arcilla, y en 25% respecto a los bloques de concreto convencional.

**Tabla N° 52: Peso por m<sup>2</sup> de muros de ladrillos de arcilla, bloques de concreto convencional y celular**

Unidad de albañilería	Cantidad de elementos por m <sup>2</sup> de muro	Peso por m <sup>2</sup> de muro	Mezcla de mortero por m <sup>2</sup> de muro
Ladrillo de arcilla cocida 08x13x21	52	180-210 kg	0.014
Bloques de concreto 12x20x40	12.5	150-230 kg	0.011
Bloques de Concreto Celular 09x19x39	12.5	120-130 kg	0.09

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo a la Tabla N° 52, el sistema de mampostería de bloques de Concreto Celular es 30% más liviano en comparación al sistema de ladrillos artesanales de arcilla cocida y 20% más liviano en comparación al sistema de bloques de concreto convencionales, esto contribuye a reducir las cargas muertas, rapidez de construcción, menores costos de transportes y acarreo.

**Tabla N° 53:** Cantidades de mortero por m2 de muro de bloques de Concreto Celular de 09x19x39

Designación	Masa (Kg)	Densidad (kg/m3)	Volumen (m3)
Cemento	3.033	3120	0.000972
Arena	12.329	2600	0.004742
Agua	2.941	1000	0.002941
<b>Total</b>			<b>0.008655</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El mortero que se utiliza de asiento, para bloques de Concreto Celular, se utiliza en menor cantidad en comparación al método tradicional con ladrillos de arcilla, un 25-50 % menos, y en cantidad similar de mortero para asentado con bloques de concreto convencional.

**Tabla N° 54:** Costos de construcción por m2 de muro de ladrillo KK, bloques de concreto convencional y celular

Ítem	Muro de bloques de Concreto Celular 09x19x39	Muro de bloques de concreto convencional 12x20x40	Muro de ladrillos kk 08x13x21
Precio por m2 de muro construido	38.05 S/.	33.23 S/.	39.18 S/.
Precio unitario de la partida tarrajeo por m2 de muro	-	13.47 S/.	13.47 S/.
Precio unitario de la partida pintura por m2 de muro	6.79 S/.	6.79 S/.	6.79 S/.
<b>Costo total</b>	<b>44.84 S/.</b>	<b>53.49 S/.</b>	<b>59.44 S/.</b>
<b>Porcentaje %</b>	<b>75.44%</b>	<b>89.99%</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Como se indica en la Tabla N° 54, el sistema de mampostería de bloques de Concreto Celular es 24% más económico en comparación al sistema de ladrillos artesanales de arcilla cocida y 14% más económico en comparación al sistema de bloques de concreto convencionales. En el muro de bloques de Concreto Celular no requiere tarrajeo, solo limpiar la superficie caravista y luego aplicar pintura.

#### 4.9. CONTRASTE DE LA HIPOTESIS

Se verifico que los bloques de Concreto Celular elaborados como objetivo principal de esta investigación cumplen a cabalidad los requisitos físicos y mecánicos establecidos en la normativa peruana referente a bloques de concreto, se logró diseñar y elaborar bloques de Concreto Celular con una densidad seca al horno

promedio de 1368.24 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario seco promedio de 1434.65 kg/m<sup>3</sup> con una resistencia a la compresión de 71.55 kg/cm<sup>2</sup> y de acuerdo a la norma NTP 399.600 y NTP 399.602 puede ser usado tanto como unidad de albañilería no estructural y estructural, puesto que cumplen los requisitos de resistencia. En cuanto a los requisitos de absorción la NTP 399.602 establece como valor máximo 12% y de acuerdo a los resultados de absorción de los bloques ensayados se obtuvo un porcentaje de absorción de 9.25%, por consiguiente se confirma la hipótesis planteada en esta investigación.

## *Capítulo V*



---

# *Conclusiones y recomendaciones*

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos de todas las dosificaciones estudiadas para cada densidad del Concreto Celular, se concluye que la dosificación óptima para lograr las características deseadas del bloque de concreto, fue la denominada EAF (espuma + aditivo plastificante+ fibra de polipropileno + cemento + arena) para la densidad aparente de 1400 [kg/m<sup>3</sup>], con una resistencia a la compresión promedio de 75.32 kg/cm<sup>2</sup> y un porcentaje de absorción de 11.51.
- ✓ Al medir la fluidez del Concreto Celular su diámetro de dispersión varia en un rango de 20 a 24 [cm] dependiendo de la densidad aparente que se desee diseñar, la misma que disminuye conforme aumenta la densidad aparente, dando ventajas de trabajabilidad y colocación en obra.
- ✓ Para mejorar las propiedades del Concreto Celular se decidió incluir fibras de polipropileno y aditivo plastificante. Después de los ensayos se comprobó que la fibra de polipropileno aumenta la resistencia a compresión en un 16.54%,17.50% y 3.24%, el aditivo plastificante en un 30.25%,44.83% y 27.94%, la adición de aditivo y fibra juntos en un 38.20%, 57.44% y 40.65 con respecto a la dosificación solo con espuma preformada para las densidad de 1000 [kg/m<sup>3</sup>], 1200[kg/m<sup>3</sup>] y 1400[kg/m<sup>3</sup>] respectivamente.
- ✓ El contenido de aire incorporado con la espuma fue de 48.79%, 43.87% y 33.30% para las densidades de 1000 [kg/m<sup>3</sup>], 1200 [kg/m<sup>3</sup>] y 1400 [kg/m<sup>3</sup>] respectivamente.
- ✓ El módulo de elasticidad del Concreto Celular es menor que del concreto convencional, esto se debe a que tienen mayor capacidad de deformación volviéndose más dúctil con la inclusión del aditivo espumante. Los módulos de elasticidad son mayores conforme tiende a incrementar el peso específico. Se calcularon los módulos de elasticidad de acuerdo al ACI 318 y ASTM C 469.
- ✓ Al término de la investigación se logró obtener un bloque de Concreto Celular con una resistencia a la compresión a los 28 días de 71.55 kg/cm<sup>2</sup> (7.02 MPa),

resistencia superior a la resistencia mínima establecida en la NTP 399.600 y NTP 399.602.

- ✓ Se obtuvo un bloque cuyo peso específico fue de 1368.24 [kg/m<sup>3</sup>] y con un grado de absorción de 9.25%, resultados que están acorde a los requerimientos de la NTP 399.602 (Valor permisible 12 %).
- ✓ El bloque obtenido desarrolló una resistencia a la flexión estática a los 28 días de edad, de 22.73 kg/cm<sup>2</sup> (2.23 MPa).
- ✓ La resistencia a la compresión axial en pilas ( $f_m$ ) fue de 53.15 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad de 8619.68 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ La resistencia a la compresión diagonal ( $V'm$ ) determinada en muretes de 60 cm x 60 cm fue de 5.65 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de corte de 2126.97 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ La resistencia a la compresión en bloques de Concreto Celular es del orden del 5% menor que la resistencia a la compresión en especímenes cúbicos de Concreto Celular para la dosificación óptima de diseño.
- ✓ El mortero tipo S de dosificación en volumen de Cemento: 1 Arena: 4 fue utilizado para unir bloques de Concreto Celular, dándonos un esfuerzo a la compresión a los 28 días de 14.34 MPa.
- ✓ El sistema de mampostería de bloques de Concreto Celular es 30% más liviano en comparación al sistema de ladrillos artesanales de arcilla cocida y 20% más liviano en comparación al sistema de bloques de concreto convencionales, esto contribuye a reducir las cargas muertas, rapidez de construcción, menores costos de transportes y acarreos.
- ✓ Las dimensiones asumidas en el diseño del bloque fueron las siguientes: 9x19x39 con un peso aproximado de 9.357 kg, dimensiones acorde a la norma NTP 399.602-2002.
- ✓ El sistema constructivo de mampostería de bloques de Concreto Celular es 24% más económico en comparación al sistema de ladrillos artesanales de arcilla cocida y 14% más económico en comparación al sistema de bloques de concreto

convencionales. El muro de bloques de Concreto Celular no requiere tarrajeo, solo limpiar la superficie caravista y luego aplicar pintura.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar agregado fino de río lavado y redondeado para evitar la ruptura de las burbujas de aire generadas por el aditivo espumante durante el mezclado.
- Se recomienda que al momento de mezclado de los componentes se agregue un porcentaje menor de espuma ya que pequeños incrementos de ésta influyen en gran medida en la densidad y resistencia final del Concreto Celular.
- El Concreto Celular no necesita vibrado como el concreto de peso normal, sin embargo se recomienda golpear con un martillo de goma el molde para homogenizar la mezcla.
- Se recomienda fabricar los bloques y almacenarlos, cerca del lugar donde se realizarán los ensayos correspondientes para evitar la manipulación innecesaria que provoque diversas alteraciones en los resultados.
- Debido a la excelente terminación que presentan los bloques fabricados, es posible e inclusive recomendable, dejarlos a la vista, con el consiguiente ahorro en materiales y mano de obra correspondientes a las tareas de revoque y terminación.
- Se recomienda investigar la variación en la resistencia del Concreto Celular tanto a compresión como a tracción según su contenido de humedad, se prevee que los niveles de resistencia disminuyan al aumentar la humedad contenida en los bloques, especialmente la resistencia a tracción.
- Se recomienda realizar una investigación netamente de Concreto Celular con un aditivo espumante de origen proteico y un generador de espuma.
- Se recomienda hacer ensayos que impliquen demostrar las ventajas del Concreto Celular como son: aislante térmico, aislante acústico, resistente al fuego entre otros; al igual que ensayos de tiempo de curado en autoclave para ver si se mejora el tiempo de desencofrado y así aprovechar al máximo este material.

## *Capítulo VI*



---

## *Referencias bibliográficas*

## CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### 6.1. TESIS

- Chavez, E. A., Funes, C. E., Silis, V., & Torres, J. M. (Marzo de 2006). Metodología para el diseño, elaboración y colocación de mezclas de Concreto Celular, Trabajo de Grado para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Albert Einstein, Facultad de Ingeniería . Antigua Cuscatlán, La Libertad, El Salvador.
- Herrera, A. (2014). Diseño de mezcla de Concreto Celular con desechos de cascara de arroz y microsilice. Trabajo Especial de Grado para obtener el Título de Ingeniería Civil. 133 p. Instituto Univeritario Politécnico Santiago Mariño. Puerto Ordaz, Venezuela.
- Luzardo, J. E., & Arraga, R. A. (Agosto de 2004). Analisis del Concreto Celular y su aplicacion en la fabricacion de paneles livianos. Trabajo Especial de Grado para optar el Título de Ingeniero Civil. p.194. Universidad Rafael Urdeta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil . Maracaibo, Venezuela.
- Mejía , L. R. (Octubre 2010). Utilizacion del hormigón celular como base y subbase en la construccion de carreteras . Disertación previa a la obtencion del Título de Ingeniero Civil. 222p. Pontificia Universidad Catolica de Ecuador, Facultad de Ingeniería Civil. Quito, Ecuador.
- Ninasquiche, Y. N. (2010). "Uso del Concreto Celular en unidades de albañilería no estructural", Tesis de Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Peru.
- Rengifo , M. C., & Yupangui , R. V. (Octubre de 2013). Estudio del Hormigon Celular. Proyecto previo a la obtencion del Título de Ingeniero Civil. 225p. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito, Ecuador.
- Phan X. D , 2005 , " Investigación del Hormigon aireado no autoclavado". Tesis Doctoral , Universidad de Melbourne, Australia .

### 6.2. LIBROS Y PUBLICACIONES

- Bazant, Z., & Kaplan, M. (1996). El Hormigon a altas temperaturas. Addison-Wesley, Londres.
- Cervantes, Alejandro. 2008. Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño. Nuevas tecnologías en Concretos- Concreto Celular-Concreto reforzado con fibra-Concreto ligero estructural. Consultado el 10 Sept. 2015. Disponible en: [http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias\\_cong2008/1.pdf](http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias_cong2008/1.pdf)
- Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Albañilería Estructural. Tercera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. PUCP. 444 p.
- ICA (Instituto del Cemento Argentino), (s.f). Hormigones Livianos. Consultado el 25 de Jun. 2015. Disponible en: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

- IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto). Concretos Ligeros. Consultado el 06 de Sep.2015. Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>.
- IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto). El concreto en la obra, Problemas causas y soluciones. Concreto sin Finos. Consultado 15 de Ago.2015. Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2007/jul07/PROBLEMAS.pdf>.
- José Luis Ramírez Ortiz, (1999). La múltiple identidad del concreto. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/multiple1.htm>
- Mak, S., Shapiro, G., & Devenish, D. (2007). "Understanding Lightweight Cellular Concrete Materials", CSIRO Manufacturing and Materials Technology. Australia.
- Neopor System, "Cellular Lightweight Concrete". Consultado el 06 de Sep. 2015. Disponible en: <http://www.neopor.com/en/clc.htm>
- Neville, A. M. (2012). "Propiedades del Concreto" 5th Edición. Longman, Essex, Inglaterra: Prentice Hall.
- San Bartolomé, A; Quiun, D & Silva, W (2011). Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería. Fondo editorial Pontificia Universidad Católica del Perú. 1Ra Edición.343.p
- Sánchez de Gusmán, D. (2010). Tecnología del Concreto y del Mortero. Santa Fe de Bogota, Colombia: Bhandar Editores LTDA.

### **6.3. NORMAS NTP**

- NTP 334.009.2013. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. 5ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 334.051.2006. CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lad. 4ª. Ed. R.2006/CRT-INDECOPI.
- NTP 339.079.2012 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.088.2006 HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. 2ª. Ed. R. 2006-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.185.2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 399.600.2010. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos. 2ª. Ed. R.05-2010/CNB-INDECOPI.
- NTP 399.602.2002. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos. 1ª. Ed. R.2002/CRT-INDECOPI.
- NTP 399.604.2002. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de muestro y ensayo de unidades de albañilería de concreto. 1ª. Ed. R.2002/CRT-INDECOPI.

- NTP 399.605.2013. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. 2ª. Ed. R.2013/CRT-INDECOPI.
- NTP 399.610.2013. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Especificaciones normalizadas para morteros. 2ª. Ed. R.2013/CRT-INDECOPI.
- NTP 399.621.2004. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. 1ª. Ed. R.2004/CRT-INDECOPI.
- NTP 400.010.2011 AGREGADOS. Extracción y preparación de muestras. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.011.2008 (revisada el 2013) AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.017.2011 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso unitario") y los vacíos en los agregados. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.018.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 $\mu$  (Nº 200). 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.

E.070 NORMA TÉCNICA DE ALBAÑILERIA (Reglamento Nacional de Edificaciones)

#### **6.4. NORMAS Y REGLAMENTOS INTERNACIONALES**

- ACI 523.1R. (2006). Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular. Detroit, USA.
- ACI 523.2R. (1996). Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units. American Concrete Institute. Detroit, USA.
- ACI 523.3R. (2014). Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>), American Concrete Institute. Detroit, USA.
- ACI 213R. (2014). Guide for structural lightweight aggregate concrete, American Concrete Institute. Detroit, USA.
- American Concrete Institute. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-11)
- ASTM C 469. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

- ASTM C 642 (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.
- ASTM C 796 (2012). Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam.
- ASTM D 6023 (2007). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, Cement Content, and Air Content (Gravimetric) of Controlled Low-Strength Material (CLSM).
- ASTM D 6103 (2004). Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM).
- AS1012.8, 2000, Methods of testing concrete - Method of making and curing concrete - Compression and indirect tensile test specimens", Standards Association of Australia, New South Wales, Australia.
- AS1012.9, 1999, "Methods for testing concrete – Determination of the compressive strength of concrete specimens", Standards Association of Australia, New South Wales, Australia.

## *Capítulo VII*



---

*Anexos*

## CAPITULO VII: ANEXOS

### 7.1. ANEXO I: PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA ARENA

Tabla N° 55: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 - agregado fino

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso seco de la muestra original	gr	350.00	350.00	350.00	350.00
Peso seco de la muestra lavada	gr	333.60	332.50	333.90	333.33
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	gr	16.40	17.50	16.10	16.67
% de material que pasa el tamiz N° 200	%	4.69	5.00	4.60	4.76

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N° 56: Ensayo N° 01, 02 y 03 de granulometría de la arena A (para densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup>)

ENSAYO N° 01					
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 08	2.380	77.50	3.78	3.78	96.22
N° 16	1.190	268.70	13.11	16.89	83.11
N° 30	0.600	595.10	29.03	45.92	54.08
N° 50	0.297	671.10	32.74	78.65	21.35
N° 100	0.149	327.20	15.96	94.61	5.39
N° 200	0.074	85.10	4.15	98.77	1.23
< N° 200	0.074	25.30	1.23	100.00	0.00
TOTAL		2050.00	100.00	MF	2.39

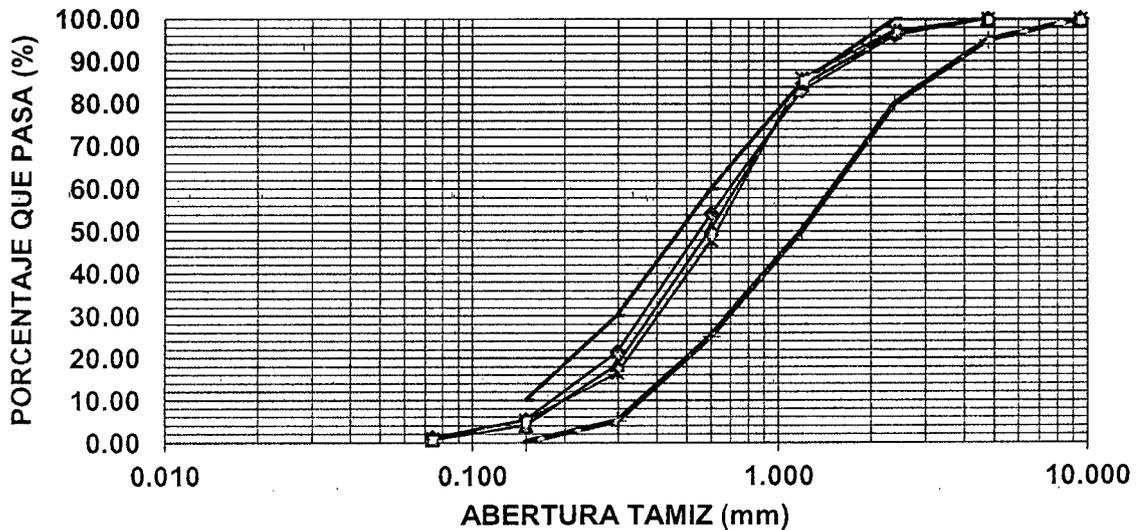
ENSAYO N° 02					
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 08	2.380	67.10	3.27	3.27	96.73
N° 16	1.190	257.00	12.54	15.81	84.19
N° 30	0.600	687.30	33.53	49.34	50.66
N° 50	0.297	662.10	32.30	81.63	18.37

N° 100	0.149	294.50	14.37	96.00	4.00
N°200	0.074	67.10	3.27	99.27	0.73
< N° 200	0.074	14.90	0.73	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>2050.00</b>	<b>100.00</b>	<b>MF</b>	<b>2.461</b>

<b>ENSAYO N° 03</b>					
Malla Nomenclatura	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 08	2.380	55.40	2.70	2.70	97.30
N° 16	1.190	229.50	11.20	13.90	86.10
N° 30	0.600	787.00	38.39	52.29	47.71
N° 50	0.297	643.00	31.37	83.65	16.35
N° 100	0.149	229.00	11.17	94.82	5.18
N°200	0.074	89.00	4.34	99.17	0.83
< N° 200	0.074	17.10	0.83	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>2050.00</b>	<b>100.00</b>	<b>MF</b>	<b>2.474</b>

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 24: Resultados de la curva granulometría de la arena A



—○— Series1 —△— Series3 —\*— Series5 ——— Limite inferior ——— Limite Superior

Fuente: NTP 400.037, Elaboración propia

Tabla N° 57: Ensayo N° 01, 02 y 03 de granulometría de la arena B (para densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>)

<b>ENSAYO N° 01</b>					
<b>Malla</b> <b>NOMENCLATURA</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Porcentaje retenido (%)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	15.70	1.05	1.05	98.95
N° 08	2.380	163.80	10.92	11.97	88.03
N° 16	1.190	143.80	9.59	21.55	78.45
N° 30	0.600	344.70	22.98	44.53	55.47
N° 50	0.297	557.60	37.17	81.70	18.30
N° 100	0.149	222.60	14.84	96.54	3.46
N° 200	0.074	42.80	2.85	99.39	0.61
< N° 200	0.074	9.10	0.61	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		1500.10	100.00	MF	2.573

<b>ENSAYO N° 02</b>					
<b>Malla</b> <b>NOMENCLATURA</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Porcentaje retenido (%)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	21.00	1.40	1.40	98.60
N° 08	2.380	202.90	13.53	14.93	85.07
N° 16	1.190	172.40	11.49	26.42	73.58
N° 30	0.600	321.80	21.45	47.87	52.13
N° 50	0.297	512.60	34.17	82.04	17.96
N° 100	0.149	211.70	14.11	96.15	3.85
N° 200	0.074	45.10	3.01	99.16	0.84
< N° 200	0.074	12.50	0.83	99.99	0.01
<b>TOTAL</b>		1500.00	99.99	MF	2.688

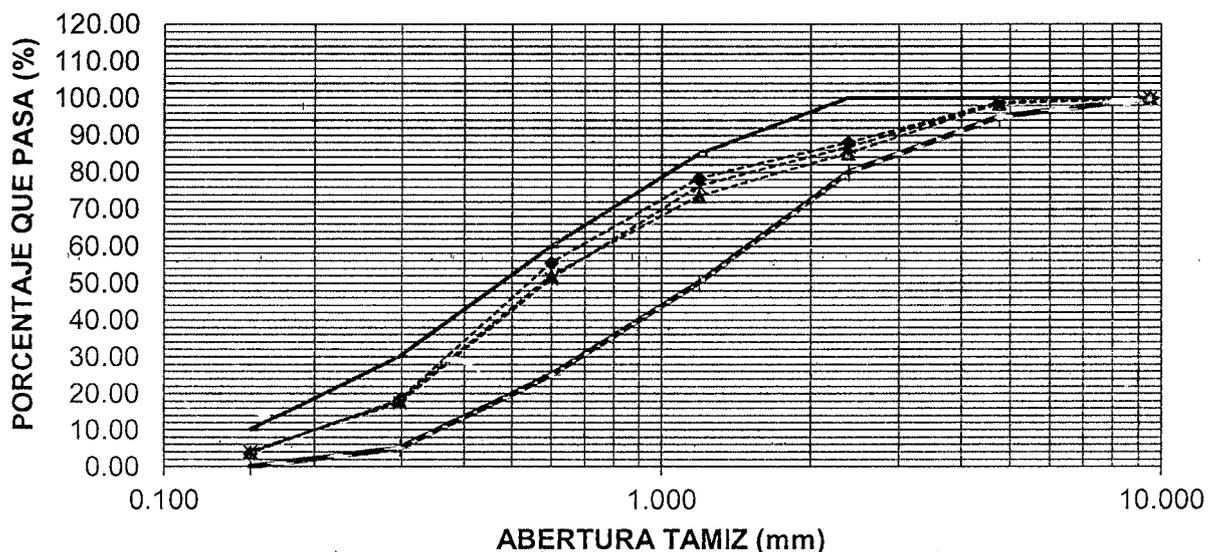
  

<b>ENSAYO N° 03</b>					
<b>Malla</b> <b>NOMENCLATURA</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Porcentaje retenido (%)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	15.80	1.05	1.05	98.95
N° 08	2.380	181.20	12.08	13.13	86.87
N° 16	1.190	158.70	10.58	23.71	76.29
N° 30	0.600	375.60	25.04	48.75	51.25
N° 50	0.297	506.50	33.76	82.51	17.49

N° 100	0.149	200.80	13.39	95.90	4.10
N°200	0.074	46.60	3.11	99.01	0.99
< N° 200	0.074	14.80	0.99	99.99	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>1500.00</b>	<b>99.99</b>	<b>MF</b>	<b>2.651</b>

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 25: Resultados de la curva granulometría de la arena B



---◆--- Ensayo 01 ---▲--- Ensayo 02 ---\*--- Ensayo 03 ——— Limite inferior ——— Limite superior

Fuente: NTP 400.037, Elaboración propia

Tabla N° 58: Ensayo N° 01, 02 y 03 de granulometría de la arena B (para densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup>)

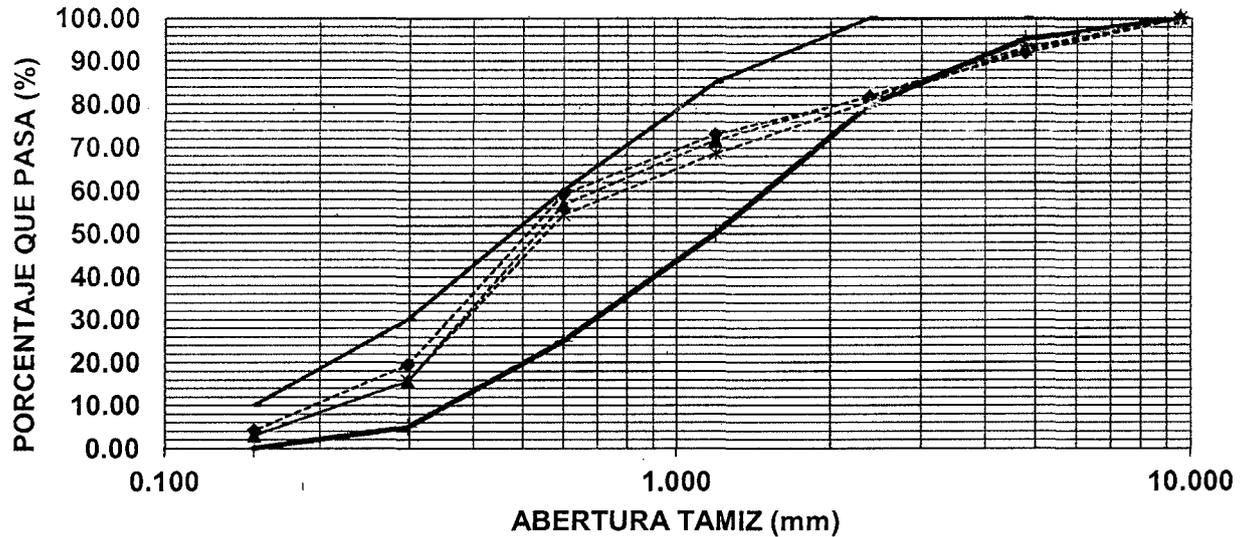
ENSAYO N° 01					
Malla NOMENCLATURA	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	122.40	8.16	8.16	91.84
N° 08	2.380	153.30	10.22	18.38	81.62
N° 16	1.190	131.60	8.77	27.15	72.85
N° 30	0.600	207.80	13.85	41.01	58.99
N° 50	0.297	594.80	39.65	80.66	19.34
N° 100	0.149	228.60	15.24	95.90	4.10
N°200	0.074	44.20	2.95	98.85	1.15
< N° 200	0.074	17.30	1.15	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1500.00</b>	<b>100.00</b>	<b>MF</b>	<b>2.713</b>

ENSAYO N° 02					
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
NOMENCLATURA					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	102.90	6.86	6.86	93.14
N° 08	2.380	167.50	11.17	18.03	81.97
N° 16	1.190	156.80	10.45	28.48	71.52
N° 30	0.600	223.20	14.88	43.36	56.64
N° 50	0.297	616.60	41.11	84.47	15.53
N° 100	0.149	188.20	12.55	97.01	2.99
N°200	0.074	35.60	2.37	99.39	0.61
< N° 200	0.074	9.20	0.61	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		1500.00	100.00	MF	2.782

ENSAYO N° 03					
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
NOMENCLATURA					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	112.30	7.49	7.49	92.51
N° 08	2.380	178.90	11.93	19.41	80.59
N° 16	1.190	182.00	12.13	31.55	68.45
N° 30	0.600	212.30	14.15	45.70	54.30
N° 50	0.297	580.80	38.72	84.42	15.58
N° 100	0.149	189.30	12.62	97.04	2.96
N°200	0.074	36.20	2.41	99.45	0.55
< N° 200	0.074	8.20	0.55	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		1500.00	100.00	MF	2.856

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 26: Resultados de la curva granulométría de la arena C



---◆--- Ensayo 01 ---▲--- Ensayo 02 ---\*--- Ensayo 03 ——— Límite inferior ——— Límite superior

Fuente: NTP 400.037, Elaboración propia

Tabla N° 59: Densidad relativa de la arena A

ITEM	UN	FORMULA	1º	2º	3º	PROMEDIO
Masa de la muestra de saturado con superficialmente seca (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua ( C )	gr	-----	1007.60	1007.90	1007.90	-----
Masa del picnómetro llenado de agua (B)	gr	-----	697.40	697.90	697.70	-----
Masa de la Muestra seca al horno (A)	gr	-----	494.00	493.90	493.80	-----
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (OD)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.603	2.599	2.602	2.601
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSD)	gr/cm3	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.634	2.632	2.634	2.633
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.688	2.686	2.690	2.688
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.215	1.235	1.256	1.235

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 60: Densidad relativa de la arena B

ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
Masa de la muestra de saturado con superficialmente seca (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Masa del Picnómetro lleno de la muestra y el agua ( C )	gr	-----	1006.20	1006.60	1007.40	-----
Masa del picnómetro llenado de agua (B)	gr	-----	697.90	698.10	698.20	-----
Masa de la Muestra seca al horno (A)	gr		491.50	492.90	493.20	-----
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (OD)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.564	2.574	2.585	2.574
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSD)	gr/cm3	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.608	2.611	2.621	2.613
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.683	2.673	2.680	2.679
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.729	1.440	1.379	1.516

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 61: Densidad relativa de la arena C

ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
Masa de la muestra de saturado con superficialmente seca (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Masa del Picnómetro lleno de la muestra y el agua ( C )	gr	-----	1006.20	1006.60	1007.40	-----
Masa del picnómetro llenado de agua (B)	gr	-----	697.90	698.10	698.20	-----
Masa de la Muestra seca al horno (A)	gr		494.00	493.90	493.80	-----
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (OD)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.577	2.579	2.588	2.581
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSD)		$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.608	2.611	2.621	2.613
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.660	2.664	2.675	2.666
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.215	1.235	1.256	1.235

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 62:** Peso específico del agua par ensayo de peso unitario del agregado fino

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de Fiola + Agua	gr	698.80	698.70	698.90	698.80
Peso de Fiola	gr	201.00	201.00	201.00	201.00
Peso de Agua	gr	497.80	497.70	497.90	497.80
Volumen de Agua	cm3	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso específico del Agua	gr/cm3	0.996	0.995	0.996	0.996

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla N° 63:** Factor agua para ensayo de peso unitario del agregado fino

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de Molde + Vidrio	gr	4760.000	4760.000	4760.000	4760.000
Peso de Molde + Vidrio + Agua	gr	7770.000	7775.000	7775.000	7773.333
Peso de Agua	gr	3010.000	3015.000	3015.000	3013.333
Peso específico del Agua	gr/cm3	0.996	0.995	0.996	0.996
Factor de agua f	cm3	0.0003301	0.000330	0.000330	0.00033

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla N° 64:** Masa por unidad de volumen de la arena A, en estado seco suelto

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8350.00	8370.00	8375.00	8365.00
Peso del Agregado	gr	4470.00	4490.00	4495.00	4485.00
Factor (f)	cm3	0.00033	0.00033040	0.00033040	0.000330398
PUSS	gr/cm3	1.477	1.483	1.485	1.482

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla N° 65:** Masa por unidad de volumen de la arena A, en estado seco compactado

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8905.00	8900.00	8910.00	8905.00
Peso del Agregado	gr	5025.00	5020.00	5030.00	5025.00
Factor (f)	cm3	0.00033	0.00033040	0.00033040	0.000330398
PUSS	gr/cm3	1.660	1.659	1.662	1.660

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N° 66: Masa por unidad de volumen de la arena B, en estado seco suelto

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8330.00	8345.00	8370.00	8348.33
Peso del Agregado	gr	4450.00	4465.00	4490.00	4468.33
Factor (f)	cm3	0.0003304	0.0003304	0.0003304	0.00033039
PUSS	gr/cm3	1.470	1.475	1.483	1.476

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 67: Masa por unidad de volumen de la arena B, en estado seco compactado

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8885.00	8870.00	8875.00	8876.67
Peso del Agregado	gr	5005.00	4990.00	4995.00	4996.67
Factor (f)	cm3	0.0003304	0.0003304	0.0003304	0.00033039
PUSC	gr/cm3	1.654	1.649	1.650	1.651

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 68: Masa por unidad de volumen de la arena C, en estado seco suelto

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8250.00	8250.00	8255.00	8251.67
Peso del Agregado	gr	4370.00	4370.00	4375.00	4371.67
Factor (f)	cm3	0.0003304	0.0003304	0.0003304	0.00033039
PUSS	gr/cm3	1.444	1.444	1.445	1.444

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 69: Masa por unidad de volumen de la arena C, en estado seco compactado

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8615.00	8655.00	8680.00	8650.00
Peso del Agregado	gr	4735.00	4775.00	4800.00	4770.00
Factor (f)	cm3	0.0003304	0.0003304	0.0003304	0.00033039
PUSC	gr/cm3	1.564	1.578	1.586	1.576

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 70: Porcentaje de vacíos de la arena A**

<b>ITEM</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
Densidad de masa seca suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1481.84
Densidad de masa seca compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1660.25
Gravedad específica de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.60
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	995.60
Vacíos en base al agregado suelto (%)	42.78
Vacíos en base al agregado compactado (%)	35.89

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla N° 71: Porcentaje de vacíos de la arena B**

<b>ITEM</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
Densidad de masa seca suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1476.33
Densidad de masa seca compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1650.89
Gravedad específica de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.57
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	995.60
Vacíos en base al agregado suelto (%)	42.39
Vacíos en base al agregado compactado (%)	35.58

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla N° 72: Porcentaje de vacíos de la arena C**

<b>ITEM</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
Densidad de masa seca suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1444.39
Densidad de masa seca compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1576.00
Gravedad específica de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.58
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	995.60
Vacíos en base al agregado suelto (%)	43.79
Vacíos en base al agregado compactado (%)	38.67

*Fuente: Elaboración propia*

## 7.2. ANEXO II: DENSIDAD DE LA ESPUMA PREFORMADA

Tabla N° 73: Factor agua para ensayo de densidad de la espuma preformada

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de Molde + Vidrio	gr	5085.000	5085.000	5085.000	5085.000
Peso de Molde + Vidrio + Agua	gr	14825.000	14820.000	14825.000	14823.333
Peso de Agua	gr	9740.000	9735.000	9740.000	9738.333
Peso específico del Agua	gr/cm3	0.996	0.995	0.996	0.996
Factor de agua f	cm3	0.00010222	0.00010225	0.00010224	0.00010224

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N° 74: Resultados de ensayo para determinar la densidad de la espuma preformada

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	4210.00	4210.00	4210.00	4210.00
Peso del molde + espuma	gr	5010.00	5005.00	5025.00	5013.33
Peso de la espuma	gr	800.00	795.00	815.00	803.33
Factor (f)	cm3	0.00010224	0.00010224	0.00010224	0.00010224
Densidad	gr/cm3	0.0818	0.0813	0.0833	0.08213

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.3. ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO CELULAR

Tabla Nº 75: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EAF- 1000 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUÍA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14				
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL				
<b>TESISTA:</b> BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES				
<b>FECHA:</b> 10/08/2015				
<b>CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACION EAF-1.0</b>				
<b>UBICACION DE LA CANTERA</b>				
<b>CANTERA:</b> "LA VICTORIA"				
<b>DATUM</b>	<b>USO</b>	<b>FRANJA</b>		
WGS -84	17	M		
<b>COORDENADAS GEOGRAFICAS</b>	<b>LATITUD</b>	: 7° 11' 60.3" S		
	<b>LONGITUD</b>	: 78° 27' 57.33" O		
	<b>COTA</b>	: -----		
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>ESTE</b>	: 779882.19 E		
	<b>NORTE</b>	: 9205019.21 N		
	<b>COTA</b>	: 2637 msnm		
<b>CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b>				
<b>ARENA (TM 0-3 mm)</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>	<b>CEMENTO</b>
Peso específico de masa	:	2.60	gr/cm <sup>3</sup>	Tipo de cemento: Pacas mayo Tipo I
Peso Unitario Suelto	:	1.48	gr/cm <sup>3</sup>	Peso Especifico : 3.12 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	:	1.66	gr/cm <sup>3</sup>	Norma : NTP 334.009:2013
Contenido de humedad	:	2.00	%	
Absorción	:	1.24	%	
Módulo de finura	:	2.44		<b>ESPUMA</b>
<b>NORMA</b>	:	<b>ASTM C33-NTP 400.037</b>		
<b>AGUA</b>				Rendimiento : 0.95
<b>NORMA</b>	:	<b>NTP 334.088:2006</b>		
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m <sup>3</sup>	Densidad : 82.13 kg/m <sup>3</sup>
				<b>NORMA</b> : <b>ASTM C796-ASTM C869</b>
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>	<b>CANTIDAD</b>
ADITIVO 01 SIKAMENT 290N	:	1.2	kg/lt	0.8% % peso de cemento
FIBRA 01 SIKAFIBER	:	0.91	kg/lt	0.5 kg/m <sup>3</sup>
<b>DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14</b>				
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1120	kg/m <sup>3</sup>	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c	:	31.15	kg/cm <sup>2</sup>	
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)	
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	1.30		
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLUMEN</b>	
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m <sup>3</sup>	998.00	-	
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m <sup>3</sup>	400.62	0.128405	
CANTIDAD DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	519.07	0.199541	
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m <sup>3</sup>	200.31	0.200371	
CANTIDA DE ADITIVO 01	l/m <sup>3</sup>	3.20	0.002671	
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m <sup>3</sup>	0.50	0.000549	
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	kg/m <sup>3</sup>	0.5315	0.581537	
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m <sup>3</sup>	0.468		
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m <sup>3</sup>	0.493		
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m <sup>3</sup>	40.499		
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m <sup>3</sup>	40.499		
AGUA EN LA ARENA	kg/m <sup>3</sup>	3.970		
AGUA DE MEZCLADO	kg/m <sup>3</sup>	155.841		
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	523.037		
<b>RESULTADOS FINALES POR M3</b>				
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>			<b>MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>	
CEMENTO	400.622	kg	CEMENTO	400.622 kg
ARENA	519.067	kg	ARENA	523.037 kg
AGUA	159.812	lt	AGUA	155.841 lt
ESPUMA	40.499	kg	ESPUMA	40.499 kg
ADITIVO 01	3.205	lt	ADITIVO 01	3.205 lt
FIBRA 01	0.500	kg	FIBRA 01	0.500 kg
<b>PROPORCION EN PESO</b>			<b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>	
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1
ARENA	1.31		ARENA	1.30
AGUA	16.53	lt/bls	AGUA	16.53 lt/bls
ESPUMA	4.30	kg/bls	ESPUMA	4.30 kg/bls
ADITIVO 01	340.00	cm <sup>3</sup> /bls	ADITIVO 01	340.00 cm <sup>3</sup> /bls
FIBRA 01	53.04	gr/bls	FIBRA 01	53.04 gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 76: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EA- 1000 kg/m<sup>3</sup>)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M <sup>3</sup> - ACI 523.3R-14					
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL					
<b>TESISTA:</b> BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES					
<b>FECHA:</b> 10/08/2015					
<b>CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACION EA-1.0</b>					
<b>UBICACION DE LA CANTERA</b>					
<b>CANTERA:</b> "LA VICTORIA"					
<b>DATUM</b>	<b>USO</b>			<b>FRANJA</b>	
WGS -84	17			M	
<b>COORDENADAS GEOGRAFICAS</b>	<b>LATITUD</b> : 7° 11' 60.3" S			<b>LONGITUD</b> : 78° 27' 57.33" O	<b>COTA</b> : -----
<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>ESTE</b> : 779882.19 E			<b>NORTE</b> : 9205019.21 N	<b>COTA</b> : 2637 msnm
<b>CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b>					
<b>ARENA (TM 0-3 mm)</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>		
Peso específico de masa	:	2.60	gr/cm <sup>3</sup>		
Peso Unitario Suelto	:	1.48	gr/cm <sup>3</sup>		
Peso unitario compactado	:	1.66	gr/cm <sup>3</sup>		
Contenido de humedad	:	2.00	%		
Absorción	:	1.24	%		
Módulo de finura	:	2.44			
<b>NORMA</b>	:	ASTM C33-NTP 400.037			
<b>AGUA</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>		
<b>NORMA</b>	:	NTP 334.088:2006			
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m <sup>3</sup>		
<b>CEMENTO</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>		
Tipo de cemento:	:	Pacasmayo Tipo I			
Peso Específico	:	3.12	gr/cm <sup>3</sup>		
Norma	:	NTP 334.009:2013			
<b>ESPUMA</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>		
Rendimiento	:	0.95			
Densidad	:	82.13	kg/m <sup>3</sup>		
<b>NORMA</b>	:	ASTM C796-ASTM C869			
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>		
<b>ADITIVO 01 SIKAMENT 290N</b>	:	1.2	kg/lt		
<b>FIBRA 01 SIKAFIBER</b>	:	0.91	kg/lt		
		0.8%	% peso de cemento		
		0	kg/m <sup>3</sup>		
<b>DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14</b>					
<b>DENSIDAD DE DISEÑO</b>	:	1120	kg/m <sup>3</sup>		
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c</b>	:	31.15	kg/cm <sup>2</sup>		
<b>RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)</b>	:	0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)		
<b>RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)</b>	:	1.30			
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M<sup>3</sup></b>					
<b>ITEM</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLUMEN</b>		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m <sup>3</sup>	998.000			
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m <sup>3</sup>	400.622	0.128405		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	519.067	0.199541		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m <sup>3</sup>	200.311	0.200371		
CANTIDA DE ADITIVO 01	lt/m <sup>3</sup>	3.2050	0.002671		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m <sup>3</sup>	0.000	0.000000		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	kg/m <sup>3</sup>	0.5310	0.530988		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m <sup>3</sup>	0.469			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m <sup>3</sup>	0.494			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m <sup>3</sup>	40.547			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m <sup>3</sup>	40.547			
AGUA EN LA ARENA	kg/m <sup>3</sup>	3.970			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m <sup>3</sup>	155.794			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	523.037			
<b>RESULTADOS FINALES POR M<sup>3</sup></b>					
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>		<b>MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>			
CEMENTO	400.622 kg	CEMENTO	400.622 kg		
ARENA	519.067 kg	ARENA	523.037 kg		
AGUA	159.764 lt	AGUA	155.794 lt		
ESPUMA	40.547 kg	ESPUMA	40.547 kg		
ADITIVO 01	3.205 lt	ADITIVO 01	3.205 lt		
FIBRA 01	0.000 kg	FIBRA 01	0.000 kg		
<b>PROPORCION EN PESO</b>		<b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>			
CEMENTO	1.00	CEMENTO	1		
ARENA	1.31	ARENA	1.30		
AGUA	16.53 lt/bls	AGUA	16.53 lt/bls		
ESPUMA	4.30 kg/bls	ESPUMA	4.30 kg/bls		
ADITIVO 01	340.00 cm <sup>3</sup> /bls	ADITIVO 01	340.00 cm <sup>3</sup> /bls		
FIBRA 01	0.00 gr/bls	FIBRA 01	0.00 gr/bls		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 77: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EF- 1000 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14						
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL						
<b>TESISTA:</b> BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES						
<b>FECHA:</b> 10/08/2015						
<b>CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACION EF-1.0</b>						
<b>UBICACION DE LA CANTERA</b>						
<b>CANTERA:</b> "LA VICTORIA"						
DATUM	USO	FRANJA				
WGS -84	17	M				
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11' 60.3" S				
	LONGITUD	: 78° 27' 57.33" O				
COORDENADAS UTM	COTA	: -----				
	ESTE	: 779882.19 E				
	NORTE	: 9205019.21 N				
	COTA	: 2637 msnm				
<b>CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b>						
<b>ARENA (TM 0-3 mm)</b>		Valor	und	<b>CEMENTO</b>	Valor	und
Peso específico de masa	:	2.60	gr/cm3	Tipo de cemento:	Pacas mayo Tipo I	
Peso Unitario Suelto	:	1.48	gr/cm3	Peso Especifico	:	3.12 gr/cm3
Peso utilitario compactado	:	1.66	gr/cm3	Norma	:	NTP 334.009:2013
Contenido de humedad	:	2.00	%	<b>ESPUMA</b>		
Absorción	:	1.24	%	Rendimiento	:	0.95
Módulo de finura	:	2.44		Densidad	:	82.13 kg/m3
NORMA	:	ASTM C33-NTP 400.037		NORMA	:	ASTM C796-ASTM C869
<b>AGUA</b>		Valor	und			
NORMA	:	NTP 334.088:2006				
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m3			
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>		Valor	und	<b>CANTIDAD</b>		
ADITIVO 01 SIKAMENT 290N	:	1.2	kg/lt	0.0%	% peso de cemento	
FIBRA 01 SIKAFIBER	:	0.91	kg/lt	0.5	kg/m3	
<b>DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14</b>						
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1120	kg/m3			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c	:	31.15	kg/cm2			
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)			
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	1.30				
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3</b>						
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN			
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	998.000	-			
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	400.622	0.128405			
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	519.067	0.199541			
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	200.311	0.200371			
CANTIDA DE ADITIVO 01	lt/m3	0.0000	0.000000			
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.5000	0.000549			
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	kg/m3	0.5289	0.528866			
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.471				
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.496				
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	40.730				
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	40.730				
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	3.970				
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	155.610				
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	523.037				
<b>RESULTADOS FINALES POR M3</b>						
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>			<b>MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>			
CEMENTO	400.622	kg	CEMENTO	400.622	kg	
ARENA	519.067	kg	ARENA	523.037	kg	
AGUA	159.581	lt	AGUA	155.610	lt	
ESPUMA	40.730	kg	ESPUMA	40.730	kg	
ADITIVO 01	0.000	lt	ADITIVO 01	0.000	lt	
FIBRA 01	0.500	kg	FIBRA 01	0.500	kg	
<b>PROPORCION EN PESO</b>			<b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>			
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1		
ARENA	1.31		ARENA	1.30		
AGUA	16.51	lt/bls	AGUA	16.51	lt/bls	
ESPUMA	4.32	kg/bls	ESPUMA	4.32	kg/bls	
ADITIVO 01	0.00	cm3/bls	ADITIVO 01	0.0000	cm3/bls	
FIBRA 01	53.04	gr/bls	FIBRA 01	53.04	gr/bls	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 78: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. E- 1000 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUÍA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL					
TESISTA: BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES					
FECHA: 10/08/2015					
CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACION E-1.0					
UBICACION DE LA CANTERA					
CANTERA: "LA VICTORIA"					
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11' 60.3" S			
	LONGITUD	: 78° 27' 57.33" O			
COORDENADAS UTM	COTA	: -----			
	ESTE	: 779882.19 E			
	NORTE	: 9205019.21 N			
COTA			: 2637 mshnm		
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES					
ARENA (TM 0-3 mm)			Valor	und	
Peso específico de masa			: 2.60	gr/cm3	
Peso Unitario Suelto			: 1.48	gr/cm3	
Peso utilitario compactado			: 1.66	gr/cm3	
Contenido de humedad			: 2.00	%	
Absorción			: 1.24	%	
Módulo de finura			: 2.44		
NORMA			: ASTM C33-NTP 400.037		
AGUA			Valor	und	
NORMA			: NTP 334.088:2006		
Densidad del Agua			: 999.7	kg/m3	
CEMENTO			Valor	und	
Tipo de cemento:			Pacasmayo Tipo I		
Peso Especifico			: 3.12	gr/cm3	
Norma			: NTP 334.009:2013		
ESPUMA			Valor	und	
Rendimiento			: 0.95		
Densidad			: 82.13	kg/m3	
NORMA			: ASTM C796-ASTM C869		
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS			Valor	und	CANTIDAD
ADITIVO 01 SIKAMENT 290N			1.2	kg/lts	0.0% % peso de cemento
FIBRA 01 SIKAFIBER			0.91	kg/lts	0.000 kg/m3
DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14					
DENSIDAD DE DISEÑO			: 1120	kg/m3	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c			: 31.15	kg/cm2	
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)			: 0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)	
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)			: 1.30		
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	998.000	-		
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	400.622	0.128405		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	519.067	0.199541		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	200.311	0.200371		
CANTIDA DE ADITIVO 01	lts/m3	0.0000	0.000000		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.0000	0.000000		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	kg/m3	0.5283	0.528317		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.472			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.497			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	40.778			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	40.778			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	3.970			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	155.563			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	523.037			
					
RESULTADOS FINALES POR M3					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	400.622	kg	CEMENTO	400.622	kg
ARENA	519.067	kg	ARENA	523.037	kg
AGUA	159.533	lt	AGUA	155.563	lt
ESPUMA	40.778	kg	ESPUMA	40.778	kg
ADITIVO 01	0.000	lt	ADITIVO 01	0.000	lt
FIBRA 01	0.000	kg	FIBRA 01	0.000	kg
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	1.31		ARENA	1.30	
AGUA	16.50	lt/bls	AGUA	16.50	lt/bls
ESPUMA	4.33	kg/bls	ESPUMA	4.33	kg/bls
ADITIVO 01	0.00	cm3/bls	ADITIVO 01	0.00	cm3/bls
FIBRA 01	0.00	gr/bls	FIBRA 01	0.00	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 79: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EAF- 1200 kg/m<sup>3</sup>)

SUPERIORES A 800 KG/M <sup>3</sup> - ACI 523.3R-14			
TESIS:	DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL		
TESISTA:	BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES		
FECHA:	20/08/2015		
<b>CONCRETO CELULAR (C.C)- DOSIFICACIÓN EAF-1.2</b>			
<b>UBICACION DE LA CANTERA</b>			
CANTERA: LA VICTORIA			
DATUM	USO	FRANJA	
WGS -84	17	M	
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11' 60.3" S	
	LONGITUD	: 78° 27' 57.33" O	
	COTA	: -----	
COORDENADAS UTM	ESTE	: 779882.19 E	
	NORTE	: 9205019.21 N	
	COTA	: 2637 msnm	
<b>CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b>			
<b>ARENA (TM 0-6 mm)</b>		Valor	und
Peso específico de masa	:	2.57	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	:	1.48	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	:	1.65	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad	:	3.00	%
Absorción	:	1.52	%
Módulo de finura	:	2.64	
NORMA	:	ASTM C33-NTP 400.037	
<b>AGUA</b>		Valor	und
NORMA	:	NTP 334.088:2006	
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m <sup>3</sup>
<b>CEMENTO</b>		Valor	und
Tipo de cemento: Pacasmayo Tipo I			
Peso Especifico	:	3.12	gr/cm <sup>3</sup>
Norma	:	NTP 334.009:2013	
<b>ESPUMA</b>		Valor	und
Rendimiento	:	0.95	
Densidad	:	82.13	kg/m <sup>3</sup>
NORMA	:	ASTM C796-ASTM C869	
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>		Valor	und
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt
FIBRA 01	SIKAFIBER	0.91	kg/lt
			CANTIDAD
			0.6%
			% peso de cemento
			0.5
			kg/m <sup>3</sup>
<b>DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14</b>			
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1320	kg/m <sup>3</sup>
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c	:	48.58	kg/cm <sup>2</sup>
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	1.88	
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M<sup>3</sup></b>			
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m <sup>3</sup>	1198.000	-
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m <sup>3</sup>	391.069	0.125343
CANTIDAD DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	733.396	0.284899
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m <sup>3</sup>	195.535	0.195593
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m <sup>3</sup>	3.1286	0.002607
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m <sup>3</sup>	0.5000	0.000549
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m <sup>3</sup>	0.50899	0.508991
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m <sup>3</sup>	0.391	
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m <sup>3</sup>	0.412	
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m <sup>3</sup>	33.803	
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m <sup>3</sup>	33.803	
AGUA EN LA ARENA	kg/m <sup>3</sup>	10.882	
AGUA DE MEZCLADO	kg/m <sup>3</sup>	150.849	
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	744.278	
<b>RESULTADOS FINALES POR M<sup>3</sup></b>			
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>		<b>MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>	
CEMENTO	391.069 kg	CEMENTO	391.069 kg
ARENA	733.396 kg	ARENA	744.278 kg
AGUA	161.731 lt	AGUA	150.849 lt
ESPUMA	33.803 kg	ESPUMA	33.803 kg
ADITIVO 01	3.129 lt	ADITIVO 01	3.129 lt
FIBRA 01	0.500 kg	FIBRA 01	0.500 kg
<b>PROPORCION EN PESO</b>		<b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>	
CEMENTO	1.00	CEMENTO	1
ARENA	1.90	ARENA	1.88
AGUA	16.39 lt/bls	AGUA	16.39 lt/bls
ESPUMA	3.67 kg/bls	ESPUMA	3.67 kg/bls
ADITIVO 01	340.00 cm <sup>3</sup> /bls	ADITIVO 01	340.00 cm <sup>3</sup> /bls
FIBRA 01	54.34 gr/bls	FIBRA 01	54.34 gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 80: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EA- 1200 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
TESIS:		DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL			
TESISTA:		BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES			
FECHA:		20/08/2015			
CONCRETO CELULAR (C.C)- DOSIFICACIÓN EA-1.2					
UBICACION DE LA CANTERA					
CANTERA:		LA VICTORIA			
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	7° 11' 60.3" S			
	LONGITUD	78° 27' 57.33" O			
COORDENADAS UTM	COTA	-----			
	ESTE	779882.19 E			
	NORTE	9205019.21 N			
COTA	2637 msnm				
CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES					
ARENA (TM 0-6 mm)		Valor	und	CEMENTO	
Peso específico de masa	:	2.57	gr/cm3	Tipo de cemento: Pacasmayo Tipo I	
Peso Unitario Suelto	:	1.48	gr/cm3	Peso Especifico	: 3.12 gr/cm3
Peso utilitario compactado	:	1.65	gr/cm3	Norma	: NTP 334.009:2013
Cohtenido de humedad	:	3.00	%	ESPUMA	
Absorción	:	1.52	%	Rendimiento	: 0.95
Módulo de finua	:	2.64		Densidad	
NORMA	:	ASTM C33-NTP 400.037		82.13 kg/m3	
AGUA	:	Valor	und	Norma	: ASTM C796-ASTM C869
NORMA	:	NTP 334.088:2006			
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m3		
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS		Valor	und	CANTIDAD	
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt	0.8%	% peso de cemento
FIBRA 01	SIKAFIBER	0.91	kg/lt	0	kg/m3
DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14					
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1920 kg/m3			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c	:	48.58 kg/cm2			
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50 (varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)			
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	1.88			
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	1198.000	-		
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	391.069	0.125343		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	733.396	0.284899		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	195.535	0.195593		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m3	3.129	0.002607		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.0000	0.000000		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m3	0.6083	0.60832		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.392			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.412			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	33.851			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	33.851			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	10.882			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	150.802			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	744.278			
RESULTADOS FINALES POR M3					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	391.069	kg	CEMENTO	391.069	kg
ARENA	733.396	kg	ARENA	744.278	kg
AGUA	161.684	lt	AGUA	150.802	lt
ESPUMA	33.851	kg	ESPUMA	33.851	kg
ADITIVO 01	3.129	lt	ADITIVO 01	3.129	lt
FIBRA 01	0.000	kg	FIBRA 01	0.000	kg
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	1.90		ARENA	1.88	
AGUA	16.39	lt/bls	AGUA	16.39	lt/bls
ESPUMA	3.68	kg/bls	ESPUMA	3.68	kg/bls
ADITIVO 01	340.00	cm3/bls	ADITIVO 01	340.00	cm3/bls
FIBRA 01	0.00	gr/bls	FIBRA 01	0.00	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 81: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EF- 1200 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL <b>TESISTA:</b> BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES <b>FECHA:</b> 20/08/2015					
<b>CONCRETO CELULAR (C.C)- DOSIFICACIÓN EF-1.2</b>					
<b>UBICACION DE LA CANTERA</b>					
<b>CANTERA:</b> LA VICTORIA					
<b>DATUM</b>		<b>USO</b>	<b>FRANJA</b>		
WGS -84		17	M		
<b>COORDENADAS GEOGRAFICAS</b>		<b>LATITUD</b>	: 7° 11'60.3" S		
		<b>LONGITUD</b>	: 78° 27'57.33" O		
		<b>COTA</b>	: -----		
<b>COORDENADAS UTM</b>		<b>ESTE</b>	: 779882.19 E		
		<b>NORTE</b>	: 9205019.21 N		
		<b>COTA</b>	: 2637 msnm		
<b>CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b>					
<b>ARENA (TM 0-6 mm)</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>	<b>CEMENTO</b>	
Peso específico de masa		: 2.57	gr/cm3	Tipo de cemento: Pacasmayo Tipo I	
Peso Unitario Suelto		: 1.48	gr/cm3	Peso Especifico : 3.12 gr/cm3	
Peso unitario compactado		: 1.65	gr/cm3	Norma : NTP 334.009:2013	
Contenido de humedad		: 3.00	%		
Absorción		: 1.52	%		
Módulo de finura		: 2.64		<b>ESPUMA</b>	
<b>NORMA</b>		: ASTM C33-NTP 400.037		<b>Valor</b>	
<b>AGUA</b>		<b>Valor</b>	<b>und</b>	<b>und</b>	
<b>NORMA</b>		: NTP 334.088:2006		Rendimiento : 0.95	
Densidad del Agua		: 999.7	kg/m3	Densidad : 82.13 kg/m3	
				<b>NORMA</b> : ASTM C796-ASTM C869	
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>					
		<b>Valor</b>	<b>und</b>	<b>CANTIDAD</b>	
<b>ADITIVO 01</b>	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt	0.0%	% peso de cemento
<b>FIBRA 01</b>	SIKAFIBER	0.91	kg/lt	0.5	kg/m3
<b>DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14</b>					
<b>DENSIDAD DE DISEÑO</b>		: 1200 kg/m3			
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c</b>		: 48.58 kg/cm2			
<b>RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)</b>		: 0.50 (varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)			
<b>RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)</b>		: 1.88			
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3</b>					
<b>ITEM</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLUMEN</b>		
DENSIDAD SECA AI. HORNO	kg/m3	1198.000	-		
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	391.069	0.125343		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	733.396	0.284899		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	195.535	0.195593		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m3	0.0000	0.000000		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.5000	0.000549		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m3	0.5054	0.505353		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.394			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.414			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	34.029			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	34.029			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	10.882			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	150.624			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	744.278			
<b>RESULTADOS FINALES POR M3</b>					
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>			<b>MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>		
CEMENTO	391.069	kg	CEMENTO	391.069	kg
ARENA	733.396	kg	ARENA	744.278	kg
AGUA	161.506	lt	AGUA	150.624	lt
ESPUMA	34.029	kg	ESPUMA	34.029	kg
ADITIVO 01	0.000	lt	ADITIVO 01	0.000	lt
FIBRA 01	0.500	kg	FIBRA 01	0.500	kg
<b>PROPORCION EN PESO</b>			<b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	1.90		ARENA	1.88	
AGUA	16.37	lt/bls	AGUA	16.37	lt/bls
ESPUMA	3.70	kg/bls	ESPUMA	3.70	kg/bls
ADITIVO 01	0.00	cm3/bls	ADITIVO 01	0.00	cm3/bls
FIBRA 01	54.34	gr/bls	FIBRA 01	54.34	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 82: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. E- 1200 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
TESIS:		DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL			
TESISTA:		BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES			
FECHA:		20/08/2015			
CONCRETO CELULAR (C.C)- DOSIFICACIÓN E-1.2					
UBICACION DE LA CANTERA					
CANTERA:		LA VICTORIA			
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11' 60.3" S			
	LONGITUD	: 78° 27' 57.33" O			
	COTA	: -----			
COORDENADAS UTM	ESTE	: 779882.19 E			
	NORTE	: 9205019.21 N			
	COTA	: 2637 msnm			
CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES					
<b>ARENA (TM 0-6 mm)</b>		Valor	und	<b>CEMENTO</b>	
Peso específico de masa	:	2.57	gr/cm3	Tipo de cemento:	Pacasmayo Tipo I
Peso Unitario Suelto	:	1.48	gr/cm3	Peso Especifico	: 3.12 gr/cm3
Peso unitario compactado	:	1.65	gr/cm3	Norma	: NTP 334.009:2013
Contenido de humedad	:	3.00	%	<b>ESPUMA</b>	
Absorción	:	1.52	%	Rendimiento	: 0.95
Módulo de finua	:	2.64		Densidad	: 82.13 kg/m3
NORMA	:	ASTM C33-NTP 400.037		NORMA	: ASTM C796-ASTM C869
<b>AGUA</b>		Valor	und		
NORMA	:	NTP 334.088:2006			
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m3		
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS		Valor	und	CANTIDAD	
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt	0.0%	% peso de cemento
FIBRA 01	SIKAFIBER	0.91	kg/lt	0	kg/m3
DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14					
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1320 kg/m3			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c	:	48.58 kg/cm2			
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50 (varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)			
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	1.88			
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	1198.000	-		
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	391.069	0.125343		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	733.396	0.284899		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	195.535	0.195593		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m3	0.0000	0.000000		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.0000	0.000000		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m3	0.6058	0.605835		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.3942			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.4149			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	34.076			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	34.076			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	10.882			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	150.576			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	744.278			
RESULTADOS FINALES POR M3					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	391.069	kg	CEMENTO	391.069	kg
ARENA	733.396	kg	ARENA	744.278	kg
AGUA	161.458	lt	AGUA	150.576	lt
ESPUMA	34.076	kg	ESPUMA	34.076	kg
ADITIVO 01	0.000	lt	ADITIVO 01	0.000	lt
FIBRA 01	0.000	kg	FIBRA 01	0.000	kg
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	1.90		ARENA	1.88	
AGUA	16.36	lt/bls	AGUA	16.36	lt/bls
ESPUMA	3.70	kg/bls	ESPUMA	3.70	kg/bls
ADITIVO 01	0.00	cm3/bls	ADITIVO 01	0.00	cm3/bls
FIBRA 01	0.00	gr/bls	FIBRA 01	0.00	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 83: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EAF- 1400 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
TESIS:		DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL			
TESISTA:		BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES			
FECHA:		26/08/2015			
CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACIÓN EAF-1.4					
UBICACION DE LA CANTERA					
CANTERA:		LA VICTORIA			
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS		LATITUD	: 7° 11'60.3" S		
		LONGITUD	: 78° 27'57.33" O		
		COTA	: -----		
COORDENADAS UTM		ESTE	: 779882.19 E		
		NORTE	: 9205019.21 N		
		COTA	: 2637 msnm		
CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES					
<b>ARENA (TM 0-8 mm)</b>		Valor	und	<b>CEMENTO</b>	
Peso específico de masa	:	2.58	gr/cm3	Tipo de cemento:	Pacasmayo Tipo I
Peso Unitario Suelto	:	1.44	gr/cm3	Peso Especifico	: 3.12 gr/cm3
Peso unitario compactado	:	1.58	gr/cm3	Norma	: NTP 334.009:2013
Contenido de humedad	:	2.50	%	<b>ESPUMA</b>	
Absorción	:	1.24	%	Rendimiento	: 0.95
Módulo de finura	:	2.78		Densidad	: 82.13 kg/m3
NORMA	:	ASTM C 33 -NTP 400.037		NORMA	: ASTM C796-ASTM C869
<b>AGUA</b>		Valor	und		
NORMA	:	NTP 334.088:2006			
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m3		
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS		Valor	und	CANTIDAD	
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt	0.8%	% peso de cemento
FIBRA 01	SIKAFIBER	0.91	kg/lt	0.5	kg/m3
DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14					
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1520	kg/m3		
RESISTENCIA A LA COMPRESION f'c	:	75.44	kg/cm2		
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)		
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	2.46			
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	1398.000			
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	384.317	0.123178		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	943.525	0.365514		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	192.158	0.192216		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m3	3.0745	0.002562		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.5000	0.000549		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m3	0.6840	0.624019		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.3160			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.3326			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	27.317			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	27.317			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	11.935			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	152.906			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	955.460			
RESULTADOS FINALES POR M3					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	384.317	kg	CEMENTO	384.317	kg
ARENA	943.525	kg	ARENA	955.460	kg
AGUA	164.841	lt	AGUA	152.906	lt
ESPUMA	27.317	kg	ESPUMA	27.317	kg
ADITIVO 01	3.075	lt	ADITIVO 0	3.075	lt
FIBRA 01	0.500	kg	FIBRA 01	0.500	kg
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	2.49		ARENA	2.52	
AGUA	16.91	lt/bls	AGUA	16.91	lt/bls
ESPUMA	3.02	kg/bls	ESPUMA	3.02	kg/bls
ADITIVO 01	340.00	cm3/bls	ADITIVO 0	340.00	cm3/bls
FIBRA 01	55.29	gr/bls	FIBRA 01	55.29	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 84: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. EA- 1400 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
TESIS:		DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL			
TESISTA:		BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES			
FECHA:		26/08/2015			
CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACIÓN EA-1.4					
UBICACION DE LA CANTERA					
CANTERA:		LA VICTORIA			
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11' 60.3" S			
	LONGITUD	: 78° 27' 57.33" O			
	COTA	: -----			
COORDENADAS UTM	ESTE	: 779882.19 E			
	NORTE	: 9205019.21 N			
	COTA	: 2637 msnm			
CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES					
<b>ARENA (TM 0-8 mm)</b>		Valor	und	<b>CEMENTO</b>	
Peso específico de masa	:	2.58	gr/cm3	Tipo de cemento:	Pacasmayo Tipo I
Peso Unitario Suelto	:	1.44	gr/cm3	Peso Especifico	: 3.12 gr/cm3
Peso unitario compactado	:	1.58	gr/cm3	Norma	: NTP 334.009:2013
Contenido de humedad	:	2.50	%	<b>ESPUMA</b>	
Absorción	:	1.24	%	Valor	und
Módulo de finura	:	2.78		Rendimiento	: 0.95
NORMA	:	ASTM C 33 -NTP 400.037			
<b>AGUA</b>		Valor	und	Densidad	: 82.13 kg/m3
NORMA	:	NTP 334.088:2006		NORMA	: ASTM C796-ASTM C869
Densidad del Agua	:	999.7	kg/m3		
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS		Valor	und	CANTIDAD	
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt	0.8%	% peso de cemento
FIBRA 01	SIKAFIBER	0.91	kg/lt	0	kg/m3
DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14					
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1520 kg/m3			
RESISTENCIA A LA COMPRESION f'c	:	75.44 kg/cm2			
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50 (varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)			
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	2.46			
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	1398.000			
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	384.317	0.123178		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	943.525	0.365514		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	192.158	0.192216		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m3	3.0745	0.002562		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.0000	0.000000		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m3	0.6835	0.6835		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.3165			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.3332			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	27.364			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	27.364			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	11.935			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	152.859			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	955.460			
RESULTADOS FINALES POR M3					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	384.317	kg	CEMENTO	384.317	kg
ARENA	943.525	kg	ARENA	955.460	kg
AGUA	164.794	lt	AGUA	152.859	lt
ESPUMA	27.364	kg	ESPUMA	27.364	kg
ADITIVO 01	3.075	lt	ADITIVO 0	3.075	lt
FIBRA 01	0.000	kg	FIBRA 01	0.000	kg
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	2.49		ARENA	2.52	
AGUA	16.90	lt/bls	AGUA	16.90	lt/bls
ESPUMA	3.03	kg/bls	ESPUMA	3.03	kg/bls
ADITIVO 01	340.00	cm3/bls	ADITIVO 0	340.00	cm3/bls
FIBRA 01	0.00	gr/bls	FIBRA 01	0.00	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 85: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf: EF- 1400 kg/m3)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M3 - ACI 523.3R-14					
TESIS:		DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL			
TESISTA:		BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES			
FECHA:		26/08/2015			
CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACIÓN EF-1.4					
UBICACION DE LA CANTERA					
CANTERA:		LA VICTORIA			
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11'60.3" S			
	LONGITUD	: 78° 27'57.33" O			
	COTA	: -----			
COORDENADAS UTM	ESTE	: 779882.19 E			
	NORTE	: 9205019.21 N			
	COTA	: 2637 msnm			
					
CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES					
ARENA (TM 0-8 mm)		Valor	und	CEMENTO	
Peso específico de masa		: 2.58	gr/cm3	Tipo de cemento: Pacasmayo Tipo I	
Peso Unitario Suelto		: 1.44	gr/cm3	Peso Especifico : 3.12 gr/cm3	
Peso unitario compactado		: 1.58	gr/cm3	Norma : NTP 334.009:2013	
Contenido de humedad		: 2.50	%	ESPUMA	
Absorción		: 1.24	%	Rendimiento	
Módulo de finura		: 2.78		: 0.95	
NORMA		: ASTM C 33 -NTP 400.037			
AGUA		Valor	und	Densidad	
NORMA		: NTP 334.088:2006			
Densidad del Agua		: 999.7	kg/m3	: 82.13 kg/m3	
NORMA		: ASTM C796-ASTM C869			
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS		Valor	und	CANTIDAD	
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	1.2	kg/lt	0.0%	% peso de cemento
FIBRA 01	SIKAFIBER	0.91	kg/lt	0.5	kg/m3
DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14					
DENSIDAD DE DISEÑO		: 1520 kg/m3			
RESISTENCIA A LA COMPRESION f'c		: 75.44 kg/cm2			
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)		: 0.50 (varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)			
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)		: 2.46			
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m3	1398.000	-		
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m3	384.317	0.123178		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m3	943.525	0.365514		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m3	192.158	0.192216		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m3	0.0000	0.000000		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m3	0.5000	0.000549		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m3	0.6815	0.681457		
VOLUMNE DE AIRE REQUERIDO	m3	0.3185			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m3	0.3353			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m3	27.538			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3	27.538			
AGUA EN LA ARENA	kg/m3	11.935			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m3	152.685			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m3	955.460			
					
RESULTADOS FINALES POR M3					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	384.317	kg	CEMENTO	384.317	kg
ARENA	943.525	kg	ARENA	955.460	kg
AGUA	164.620	lt	AGUA	152.685	lt
ESPUMA	27.538	kg	ESPUMA	27.538	kg
ADITIVO 01	0.000	lt	ADITIVO 0	0.000	lt
FIBRA 01	0.500	kg	FIBRA 01	0.500	kg
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	2.49		ARENA	2.52	
AGUA	16.88	lt/bls	AGUA	16.88	lt/bls
ESPUMA	3.05	kg/bls	ESPUMA	3.05	kg/bls
ADITIVO 01	0.00	cm3/bls	ADITIVO 0	0.00	cm3/bls
FIBRA 01	55.29	gr/bls	FIBRA 01	55.29	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 86: Diseño de mezcla de Concreto Celular (Dosf. E- 1400 kg/m<sup>3</sup>)

DISEÑO DE MEZCLAS C.C - ACORDE A LA GUIA PARA CONCRETO CELULAR CON DENSIDADES SUPERIORES A 800 KG/M <sup>3</sup> - ACI 523.3R-14					
TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL					
TESISTA: BACH. ING CIVIL LENIN PEDRO ZAMORA TERRONES					
FECHA: 26/08/2015					
<b>CONCRETO CELULAR (C.C) - DOSIFICACIÓN E-1.4</b>					
<b>UBICACIÓN DE LA CANTERA</b>					
CANTERA: LA VICTORIA					
DATUM	USO	FRANJA			
WGS -84	17	M			
COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD	: 7° 11' 60.3" S			
	LONGITUD	: 78° 27' 57.33" O			
COORDENADAS UTM	COTA	: -----			
	ESTE	: 779882.19 E			
	NORTE	: 9205019.21 N			
COTA			: 2637 msnm		
<b>CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b>					
<b>ARENA (TM 0-8 mm)</b>			<b>CEMENTO</b>		
Peso específico de masa	Valor	und	Tipo de cemento:	Valor	und
Peso Unitario Suelto	2.58	gr/cm <sup>3</sup>	Peso Especifico	3.12	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1.44	gr/cm <sup>3</sup>	Norma	NTP 334.009:2013	
Contenido de humedad	1.58	gr/cm <sup>3</sup>	<b>ESPUMA</b>		
Absorción	2.50	%	Rendimiento	0.95	
Módulo de finura	1.24	%	Densidad	82.13	kg/m <sup>3</sup>
NORMA	2.78	%	NORMA	ASTM C796-ASTM C869	
ASTM C 33 -NTP 400.037					
<b>AGUA</b>			<b>AGUA</b>		
NORMA	Valor	und			
Densidad del Agua	999.7	kg/m <sup>3</sup>			
NTP 334.088:2006					
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>					
ADITIVO 01	SIKAMENT 290N	Valor	und	CANTIDAD	
FIBRA 01	SIKAFIBER	1.2	kg/lt	0.0%	% peso de cemento
		0.91	kg/lt	0	kg/m <sup>3</sup>
<b>DISEÑO DE MEZCLA ACI 523.3R-14</b>					
DENSIDAD DE DISEÑO	:	1520	kg/m <sup>3</sup>		
RESISTENCIA A LA COMPRESION f'c	:	75.44	kg/cm <sup>2</sup>		
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)	:	0.50	(varia de 0.45-0.60, según ACI 523.3R-14)		
RELACION ARENA/CEMENTO (s/c)	:	2.46			
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M<sup>3</sup></b>					
ITEM	UND	VALOR	VOLUMEN		
DENSIDAD SECA AL HORNO	kg/m <sup>3</sup>	1398.000	-		
CANTIDAD DE CEMENTO	kg/m <sup>3</sup>	384.317	0.123178		
CANTIDAD DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	943.525	0.365514		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	lt/m <sup>3</sup>	192.158	0.192216		
CANTIDAD DE ADITIVO 01	lt/m <sup>3</sup>	0.0000	0.000000		
CANTIDAD DE FIBRA 01	kg/m <sup>3</sup>	0.0000	0.000000		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	m <sup>3</sup>	0.6809	0.680908		
VOLUMNE DE AIRE REQUÉRIDO	m <sup>3</sup>	0.3191			
VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA	m <sup>3</sup>	0.3359			
PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA	kg/m <sup>3</sup>	27.586			
AGUA EN LA ESPUMA	kg/m <sup>3</sup>	27.586			
AGUA EN LA ARENA	kg/m <sup>3</sup>	11.935			
AGUA DE MEZCLADO	kg/m <sup>3</sup>	152.637			
CANTIDAD CORRECTA DE ARENA	kg/m <sup>3</sup>	955.460			
<b>RESULTADOS FINALES POR M<sup>3</sup></b>					
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>			<b>MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>		
CEMENTO	384.317	kg	CEMENTO	384.317	kg
ARENA	943.525	kg	ARENA	955.460	kg
AGUA	164.572	lt	AGUA	152.637	lt
ESPUMA	27.586	kg	ESPUMA	27.586	kg
ADITIVO 01	0.000	lt	ADITIVO 0	0.000	lt
FIBRA 01	0.000	kg	FIBRA 01	0.000	kg
<b>PROPORCION EN PESO</b>			<b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>		
CEMENTO	1.00		CEMENTO	1	
ARENA	2.49		ARENA	2.52	
AGUA	16.88	lt/bls	AGUA	16.88	lt/bls
ESPUMA	3.05	kg/bls	ESPUMA	3.05	kg/bls
ADITIVO 01	0.00	cm <sup>3</sup> /bls	ADITIVO 0	0.00	cm <sup>3</sup> /bls
FIBRA 01	0.00	gr/bls	FIBRA 01	0.00	gr/bls

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4. ANEXO IV: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO - MECANICOS EN CUBOS DE CONCRETO CELULAR

Descripción: Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena A)

Densidad Apparente: 1000 kg/m<sup>3</sup>

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno+ Aditivo plastificante

Tabla N° 87: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EAF-1.0

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes-Dosf. EAF									Promedio		
	EAF-01	EAF-02	EAF-03	EAF-04	EAF-05	EAF-06	EAF-07	EAF-08	EAF-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.20	10.10	10.20	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.15			--
Largo (cm)	10.15	10.05	10.15	9.98	9.90	10.10	10.00	9.90	10.05			--
Altura (cm)	10.21	10.15	10.20	9.90	9.85	10.12	10.05	10.15	10.10			
Peso (gr)	1193.50	1209.70	1199.20	1201.60	1171.80	1184.70	1219.40	1245.60	1199.30			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1129.09	1174.15	1135.60	1204.13	1189.76	1147.59	1201.32	1227.31	1164.06	1146.28	1180.49	1197.56
Carga máxima de rotura (kg)	2500.00	2400.00	2300.00	3000.00	2700.00	2800.00	3300.00	3100.00	3300.00	2400.00	2833.33	3233.33
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	24.15	23.64	22.22	29.76	27.00	27.45	32.67	31.00	32.35	23.34	28.07	32.01
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	2.37	2.32	2.18	2.92	2.65	2.69	3.20	3.04	3.17	2.29	2.75	3.14
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	0.95	0.93	0.87	1.17	1.06	1.08	1.28	1.22	1.27	0.92	1.10	1.26
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.049	0.052	0.005	0.002	0.01	0.04	0.013	0.07	0.01	0.04	0.02	0.03
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00	0.00	0.00
Deformación al 40% de la compresión	0.00638	0.006835	0.008965	0.007570	0.005186	0.009100	0.009245	0.005795	0.006892	0.01	0.01	0.01
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	141.92	128.98	97.20	154.99	204.60	114.33	138.01	199.48	184.52	122.70	157.97	174.00
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	2510.51	2634.37	2428.83	3069.54	2871.60	2742.61	3204.89	3223.78	3041.80	2524.57	2894.58	3156.82
Tiempo de ensayo (seg)	100.00	95.00	84.00	137.00	107.00	180.00	140.00	120.00	135.00	93.00	141.33	131.67
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Tipo de espécimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

Fuente: Elaboración propia

**Descripción:** Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena A)

**Densidad Aparente:** 1000 kg/m<sup>3</sup>

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Aditivo plastificante

**Tabla N° 88:** Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EA-1.0

Datos de Especímenes	Especímenes-Dosf.EA									Promedio		
	EA-01	EA-02	EA-03	EA-04	EA-05	EA-06	EA-07	EA-08	EA-09	7 Días	14 Días	28 Días
<b>Nomenclatura</b>												
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.10	9.90	9.95	10.10	10.10	10.10	10.05	10.10	10.05			--
Largo (cm)	10.00	9.90	9.90	9.99	9.95	10.10	10.15	10.10	10.05			--
Altura (cm)	10.00	9.80	9.90	10.15	10.10	10.10	10.05	10.05	10.05			--
Peso (gr)	1119.60	1120.10	1098.50	1092.50	1160.20	1208.30	1075.70	1081.40	1089.90			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1108.51	1166.17	1126.44	1066.76	1143.05	1172.76	1049.28	1054.82	1073.71	1133.71	1127.53	1059.27
Carga máxima de rotura (kg)	2300.00	2000.00	2200.00	2900.00	2600.00	2400.00	2900.00	3100.00	3200.00	2166.67	2633.33	3066.67
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	22.77	20.41	22.33	28.74	25.87	23.53	28.43	30.39	31.68	21.84	26.05	30.17
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	2.23	2.00	2.19	2.82	2.54	2.31	2.79	2.98	3.11	2.14	2.55	2.96
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	0.89	0.80	0.88	1.13	1.01	0.92	1.12	1.19	1.24	0.86	1.02	1.18
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.029	0.013	0.024	0.047	0.07	0.05	0.017	0.04	0.02	0.02	0.06	0.03
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.008239	0.009785	0.014267	0.007683	0.006280	0.004500	0.005303	0.005770	0.005925	0.01076	0.00615	0.00567
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	105.50	80.89	59.95	141.53	151.83	195.55	209.07	201.88	207.32	82.11	162.97	206.09
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	2371.62	2422.42	2405.86	2515.28	2646.94	2623.19	2440.35	2543.05	2666.68	2399.97	2595.14	2550.02
Tiempo de ensayo (seg)	95.00	90.00	95.00	110.00	120.00	115.00	131.00	139.00	140.00	93.33	115.00	136.67
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.024	0.022	0.023	0.026	0.021	0.020	0.021	0.021	0.022	0.02	0.02	0.02
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

*Fuente: Elaboración propia*

**Descripción:** Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena A)

**Densidad Aparente:** 1000 kg/m<sup>3</sup>

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno

**Tabla N° 89:** Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EF-1.0

Datos de Especímenes	Especímenes.Dosf.EF									Promedio		
	EF-01	EF-02	EF-03	EF-04	EF-05	EF-06	EF-07	EF-08	EF-09	7 Días	14 Días	28 Días
Nomenclatura												
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.20	10.00	10.20	10.10	10.15	10.10	10.10	10.10	10.10			--
Largo (cm)	10.10	10.10	10.00	10.15	10.10	10.10	10.15	10.20	10.10			--
Altura (cm)	10.20	10.10	10.20	10.10	10.10	10.05	10.10	10.10	10.10			
Peso (gr)	1087.80	1112.30	1105.50	1067.00	1064.30	1078.30	1096.10	1092.60	1064.80			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1035.21	1090.38	1062.57	1030.52	1027.91	1051.79	1058.62	1050.07	1033.48	1062.72	1036.74	1047.39
Carga máxima de rotura (kg)	1800.00	1900.00	1900.00	2100.00	2000.00	2100.00	3100.00	2500.00	2700.00	1866.67	2066.67	2766.67
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	17.47	18.81	18.63	20.48	19.51	20.59	30.24	24.27	26.47	18.30	20.19	26.99
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	1.71	1.84	1.83	2.01	1.91	2.02	2.97	2.38	2.60	1.79	1.98	2.65
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	0.69	0.74	0.73	0.80	0.77	0.81	1.19	0.95	1.04	0.72	0.79	1.06
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.052	0.040	0.030	0.041	0.01	0.03	0.053	0.05	0.02	0.04	0.03	0.04
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.01175	0.012540	0.016830	0.010560	0.005600	0.007290	0.005906	0.005344	0.006885	0.01371	0.00782	0.00604
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	54.16	55.87	41.78	72.57	135.92	106.83	193.58	170.84	149.30	50.60	105.11	171.24
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	1874.76	2102.88	2013.00	2016.17	1960.12	2084.07	2550.52	2257.18	2301.68	1996.88	2020.12	2369.79
Tiempo de ensayo (seg)	106.00	110.00	106.00	115.00	100.00	95.00	110.00	105.00	100.00	107.33	103.33	105.00
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.016	0.017	0.017	0.017	0.019	0.021	0.027	0.023	0.026	0.02	0.02	0.03
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

**Fuente:** Elaboración propia

**Descripción:** Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena A)

**Densidad Aparente:** 1000 kg/m<sup>3</sup>

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante

**Tabla N° 90:** Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1000 kg/m<sup>3</sup>, dosificación E-1.0

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes-Dosf.E									Promedio		
	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07	E-08	E-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.15	10.10	10.20	10.10	10.00	10.10	10.10	10.10	10.00			--
Largo (cm)	10.10	10.10	10.15	10.00	10.02	10.10	10.15	10.10	10.20			--
Altura (cm)	10.00	10.10	10.10	10.20	10.20	10.15	10.10	10.10	10.15			--
Peso (gr)	1187.50	1203.90	1198.20	1173.30	1174.70	1189.70	1204.40	1210.50	1156.20			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1158.37	1168.49	1145.89	1138.91	1149.37	1149.02	1163.22	1174.90	1116.78	1157.58	1145.77	1151.63
Carga máxima de rotura (kg)	1600.00	1800.00	2400.00	2000.00	1800.00	2200.00	2500.00	2200.00	2400.00	1933.33	2000.00	2366.67
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	15.61	17.65	23.18	19.80	17.96	21.57	24.39	21.57	23.53	18.81	19.78	23.16
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	1.53	1.73	2.27	1.94	1.76	2.11	2.39	2.11	2.31	1.84	1.94	2.27
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	0.61	0.69	0.91	0.78	0.70	0.85	0.96	0.85	0.92	0.74	0.78	0.91
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.021	0.034	0.073	0.039	0.02	0.08	0.007	0.02	0.08	0.04	0.05	0.03
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.01019	0.013200	0.021700	0.005800	0.007200	0.007720	0.006835	0.005860	0.005860	0.01503	0.00691	0.00619
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	58.31	50.03	38.61	128.22	95.77	100.25	139.99	142.90	145.46	48.98	108.08	142.78
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	2097.32	2259.35	2514.86	2303.11	2223.92	2435.63	2638.14	2518.37	2437.72	2290.51	2320.89	2531.41
Tiempo de ensayo (seg)	139.00	130.00	142.00	110.00	123.00	115.00	105.00	110.00	100.00	137.00	116.00	105.00
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.011	0.013	0.016	0.018	0.014	0.018	0.023	0.019	0.023	0.01	0.02	0.02
Tipo de espécimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

*Fuente: Elaboración propia*

**Descripción:** Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena B)

**Densidad Aparente:** 1200 kg/m<sup>3</sup>

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno+ Aditivo plastificante

**Tabla N° 91:** Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EAF-1.2

Datos de Especímenes	Especímenes-Dosf. EAF									Promedio		
	EAF-01	EAF-02	EAF-03	EAF-04	EAF-05	EAF-06	EAF-07	EAF-08	EAF-09	7 Días	14 Días	28 Días
Nomenclatura												
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.05	10.10	10.10	10.10	10.05	10.05	10.20	10.15	10.10			--
Largo (cm)	10.10	10.15	10.15	10.10	10.00	10.05	10.05	10.05	10.20			--
Altura (cm)	10.15	10.05	10.05	10.15	10.10	10.05	10.15	10.15	10.15			
Peso (gr)	1283.60	1279.30	1246.40	1278.50	1280.20	1285.80	1290.20	1254.00	1316.30			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1245.88	1241.71	1209.77	1234.79	1261.22	1266.70	1240.01	1211.15	1258.83	1232.45	1254.24	1236.66
Carga máxima de rotura (kg)	3300.00	3500.00	3300.00	4200.00	4400.00	4300.00	4900.00	4800.00	5000.00	3366.67	4300.00	4900.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	32.51	34.14	32.19	41.17	43.78	42.57	47.80	47.06	48.53	32.95	42.51	47.80
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	3.19	3.35	3.16	4.04	4.29	4.18	4.69	4.61	4.76	3.23	4.17	4.69
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.28	1.34	1.26	1.62	1.72	1.67	1.88	1.85	1.90	1.29	1.67	1.87
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.074	0.094	0.029	0.045	0.06	0.05	0.431	0.02	0.01	0.07	0.05	0.15
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00	0.00	0.00
Deformación al 40% de la compresión	0.004891	0.005805	0.005965	0.010860	0.004863	0.006970	0.005900	0.008485	0.004795	0.01	0.01	0.01
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	248.16	216.42	208.58	145.24	345.08	233.99	246.79	216.25	399.83	224.39	241.44	287.63
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	3376.42	3442.69	3214.76	3749.04	3990.78	3961.05	4065.19	3893.43	4189.90	3344.62	3900.29	4049.51
Tiempo de ensayo (seg)	140.00	140.00	130.00	125.00	145.00	160.00	130.00	135.00	148.00	136.67	143.33	137.00
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03
Tipo de espécimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

*Fuente: Elaboración propia*

**Descripción:** Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena B)

**Densidad Aparente:** 1200 kg/m<sup>3</sup>

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Aditivo plastificante

**Tabla N° 92:** Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EA-1.2

Datos de Especímenes	Especímenes-Dosf.EA									Promedio		
	EA-01	EA-02	EA-03	EA-04	EA-05	EA-06	EA-07	EA-08	EA-09	7 Días	14 Días	28 Días
Nomenclatura												
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.20	10.15	10.15	10.05	10.05	10.05	10.10	10.00	10.05			--
Largo (cm)	10.15	10.15	10.20	10.05	10.15	10.00	10.15	10.20	10.20			--
Altura (cm)	10.20	10.10	10.15	10.15	10.20	10.20	10.10	10.10	10.10			--
Peso (gr)	1343.30	1380.60	1351.40	1331.20	1360.20	1350.50	1328.20	1340.10	1346.50			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1272.06	1326.83	1286.03	1298.51	1307.29	1317.43	1282.79	1300.82	1300.53	1294.97	1307.74	1294.71
Carga máxima de rotura (kg)	3200.00	3400.00	3500.00	4200.00	4600.00	4200.00	4700.00	4400.00	4400.00	3366.67	4333.33	4500.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	30.91	33.00	33.81	41.58	45.09	41.79	45.85	43.14	42.92	32.57	42.82	43.97
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	3.03	3.24	3.32	4.08	4.42	4.10	4.50	4.23	4.21	3.19	4.20	4.31
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.21	1.29	1.33	1.63	1.77	1.64	1.80	1.69	1.68	1.28	1.68	1.72
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.041	0.046	0.026	0.025	0.03	0.09	0.041	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.00544	0.004140	0.004098	0.007360	0.005043	0.005515	0.005985	0.005240	0.004940	0.00456	0.00597	0.00539
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	217.29	305.36	321.18	219.73	348.20	283.50	296.12	320.39	338.02	281.28	283.81	318.18
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	3396.49	3738.73	3610.83	4063.08	4274.13	4162.58	4189.05	4149.34	4137.62	3582.02	4166.60	4158.67
Tiempo de ensayo (seg)	155.00	125.00	137.00	130.00	140.00	130.00	140.00	135.00	120.00	139.00	133.33	131.67
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.020	0.026	0.024	0.031	0.032	0.032	0.032	0.031	0.035	0.02	0.03	0.03
Tipo de espécimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

*Fuente: Elaboración propia*

**Descripción:** Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena B)

**Densidad Aparente:** 1200 kg/m<sup>3</sup>

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno

**Tabla N° 93:** Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EF-1.2

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes.Dosf.EF									Promedio		
	EF-01	EF-02	EF-03	EF-04	EF-05	EF-06	EF-07	EF-08	EF-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.10	10.10	10.10	10.05	10.15	10.15	10.00	10.10	10.10			--
Largo (cm)	10.15	10.10	10.15	10.05	10.10	10.15	10.10	10.15	10.10			--
Altura (cm)	10.20	10.20	10.05	10.15	10.05	10.15	10.10	10.10	10.10			
Peso (gr)	1337.60	1329.90	1327.90	1343.50	1350.20	1325.60	1326.20	1363.80	1337.50			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1279.20	1278.13	1288.88	1310.51	1310.52	1267.69	1300.07	1317.17	1298.16	1282.07	1296.24	1305.13
Carga máxima de rotura (kg)	2800.00	2600.00	2600.00	3200.00	3600.00	3200.00	3500.00	3800.00	3600.00	2666.67	3333.33	3633.33
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	27.31	25.49	25.36	31.68	35.12	31.06	34.65	37.07	35.29	26.05	32.62	35.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	2.68	2.50	2.49	3.11	3.44	3.05	3.40	3.64	3.46	2.56	3.20	3.50
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.07	1.00	0.99	1.24	1.38	1.22	1.36	1.45	1.38	1.02	1.28	1.40
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.023	0.033	0.043	0.034	0.02	0.04	0.0170	0.0359	0.0663	0.03	0.03	0.04
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.00676	0.007085	0.003990	0.005365	0.004959	0.005515	0.005410	0.004775	0.005900	0.00595	0.00528	0.00536
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	156.20	137.42	241.57	227.44	275.61	214.93	250.43	300.14	225.31	178.40	239.33	258.63
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	3219.75	3106.41	3137.90	3595.81	3785.76	3387.34	3715.79	3919.13	3741.56	3154.69	3589.64	3792.16
Tiempo de ensayo (seg)	134.00	148.00	120.00	125.00	120.00	116.00	125.00	128.00	135.00	134.00	120.33	129.33
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.020	0.017	0.021	0.025	0.029	0.026	0.027	0.028	0.026	0.02	0.03	0.03
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

*Fuente: Elaboración propia*

Descripción: Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena B)

Densidad Aparente: 1200 kg/m<sup>3</sup>

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante

Tabla N° 94: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m<sup>3</sup>, dosificación E-1.2

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes-Dosf.E									Promedio		
	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07	E-08	E-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.10	10.05	10.10	10.15	10.15	10.50	10.10	10.10	10.00			--
Largo (cm)	10.10	10.10	10.00	10.00	10.05	10.05	9.95	10.00	10.15			--
Altura (cm)	10.20	10.15	10.20	9.99	10.10	10.01	10.20	10.10	10.20			--
Peso (gr)	1285.90	1293.70	1272.60	1294.80	1339.90	1327.70	1328.80	1286.50	1306.20			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1235.85	1255.68	1235.29	1276.94	1300.53	1256.93	1296.33	1261.15	1261.66	1242.27	1278.13	1273.05
Carga máxima de rotura (kg)	2300.00	2200.00	2000.00	2600.00	2400.00	2600.00	2900.00	3100.00	3200.00	2166.67	2533.33	3066.67
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	22.55	21.67	19.80	25.62	23.53	24.64	28.88	30.69	31.53	21.34	24.59	30.36
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	2.21	2.13	1.94	2.51	2.31	2.42	2.83	3.01	3.09	2.09	2.41	2.98
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	0.88	0.85	0.78	1.00	0.92	0.97	1.13	1.20	1.24	0.84	0.96	1.19
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.068	0.102	0.045	0.123	0.02	0.05	0.064	0.07	0.01	0.07	0.06	0.05
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.004765	0.004636	0.004685	0.004340	0.003750	0.005240	0.005335	0.005500	0.003583	0.00470	0.00444	0.00481
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	173.07	163.24	157.92	205.44	245.25	176.20	202.13	207.38	346.78	164.74	208.96	252.10
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	2777.91	2789.44	2601.59	3109.85	3063.35	2978.54	3376.20	3341.18	3388.33	2722.98	3050.58	3368.57
Tiempo de ensayo (seg)	139.00	130.00	142.00	110.00	123.00	115.00	105.00	110.00	100.00	137.00	116.00	105.00
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.016	0.016	0.014	0.023	0.019	0.021	0.027	0.027	0.031	0.02	0.02	0.03
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

Fuente: Elaboración propia

Descripción: Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena C)

Densidad Aparente: 1400 kg/m<sup>3</sup>

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno + Aditivo plastificante

Tabla N° 95: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EAF-1.4

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes-Dosf. EAF									Promedio		
	EAF-01	EAF-02	EAF-03	EAF-04	EAF-05	EAF-06	EAF-07	EAF-08	EAF-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.05	10.10	10.05	10.05	10.05	10.15	10.15	10.05	10.25			--
Largo (cm)	10.10	10.15	10.00	10.05	10.10	9.90	10.10	10.15	10.10			--
Altura (cm)	10.15	10.20	10.15	10.15	10.10	10.10	10.15	10.20	10.02			--
Peso (gr)	1546.20	1547.80	1539.60	1602.00	1596.00	1616.00	1558.70	1613.30	1625.60			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1500.76	1480.22	1509.30	1562.66	1556.77	1592.28	1497.99	1550.54	1567.11	1496.76	1570.57	1538.55
Carga máxima de rotura (kg)	5600.00	6000.00	6300.00	6700.00	6800.00	6400.00	7800.00	7800.00	7600.00	5966.67	6633.33	7733.33
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	55.17	58.53	62.69	66.33	66.99	63.69	76.09	76.46	73.41	58.79	65.67	75.32
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	5.41	5.74	6.15	6.51	6.57	6.25	7.46	7.50	7.20	5.77	6.44	7.39
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	2.16	2.30	2.46	2.60	2.63	2.50	2.98	3.00	2.88	2.31	2.58	2.95
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.139	0.050	0.210	0.022	0.04	0.22	0.222	0.55	0.09	0.13	0.09	0.29
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00	0.00	0.00
Deformación al 40% de la compresión	0.005088	0.006577	0.004311	0.006074	0.004502	0.004939	0.006378	0.005920	0.006168	0.01	0.01	0.01
Módulo de elasticidad (ASTM C-469) (MPa)	402.03	344.09	527.94	428.24	581.76	465.99	436.62	418.48	455.52	424.69	492.00	436.21
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	5814.97	5866.80	6251.44	6774.80	6769.80	6828.04	6809.98	7189.26	7157.54	5977.74	6790.88	7052.26
Tiempo de ensayo (seg)	220.00	230.00	240.00	242.00	230.00	230.00	225.00	210.00	240.00	230.00	234.00	225.00
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

Fuente: Elaboración propia

Descripción: Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena C)

Densidad Aparente: 1400 kg/m<sup>3</sup>

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Aditivo plastificante

Tabla N° 96: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EA-1.4

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes-Dosf.EA									Promedio		
	EA-01	EA-02	EA-03	EA-04	EA-05	EA-06	EA-07	EA-08	EA-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.15	10.05	10.15	10.05	10.10	10.10	10.05	10.15	10.10			--
Largo (cm)	10.05	10.10	10.10	10.00	10.15	10.02	10.15	10.05	10.15			--
Altura (cm)	10.15	10.20	10.10	10.15	10.15	10.20	10.20	10.15	10.20			--
Peso (gr)	1584.80	1548.10	1589.00	1545.30	1566.90	1552.30	1520.00	1526.00	1566.00			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1530.65	1495.24	1534.67	1514.89	1505.87	1503.79	1460.87	1473.86	1497.63	1520.19	1508.18	1477.45
Carga máxima de rotura (kg)	5400.00	5600.00	5800.00	6400.00	6200.00	6600.00	7200.00	7000.00	6800.00	5600.00	6400.00	7000.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	52.94	55.17	56.58	63.68	60.48	65.22	70.58	68.62	66.33	54.89	63.13	68.51
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	5.19	5.41	5.55	6.25	5.93	6.40	6.92	6.73	6.50	5.38	6.19	6.72
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	2.08	2.16	2.22	2.50	2.37	2.56	2.77	2.69	2.60	2.15	2.48	2.69
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.267	0.087	0.032	0.097	0.11	0.08	0.120	0.09	0.13	0.13	0.10	0.11
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.004133	0.004396	0.004442	0.004125	0.004079	0.005783	0.004322	0.004536	0.004145	0.00432	0.00466	0.00433
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	443.12	477.98	497.99	589.31	560.92	432.60	620.12	580.60	603.67	473.03	527.61	601.46
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	5867.11	5782.91	6089.36	6335.88	6119.45	6341.41	6316.78	6311.70	6356.17	5913.13	6265.58	6328.22
Tiempo de ensayo (seg)	220.00	250.00	225.00	190.00	180.00	210.00	190.00	180.00	210.00	231.67	193.33	193.33
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.024	0.022	0.025	0.033	0.033	0.030	0.036	0.037	0.031	0.02	0.03	0.03
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

Fuente: Elaboración propia

Descripción: Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena C)

Densidad Aparente: 1400 kg/m<sup>3</sup>

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno

Tabla N° 97: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>, dosificación EF-1.4

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes.Dosif.EF									Promedio		
	EF-01	EF-02	EF-03	EF-04	EF-05	EF-06	EF-07	EF-08	EF-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.15	10.15	10.10	10.00	10.10	10.12	10.05	10.15	10.15			--
Largo (cm)	10.15	10.10	10.15	10.15	10.10	10.05	10.05	9.99	10.00			--
Altura (cm)	10.05	10.10	10.20	10.15	10.20	10.15	10.15	10.25	10.20			--
Peso (gr)	1562.50	1555.00	1538.40	1556.40	1584.00	1575.70	1530.00	1546.00	1566.00			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1509.11	1501.83	1471.23	1510.74	1522.34	1526.37	1492.43	1487.49	1512.61	1494.06	1519.82	1497.51
Carga máxima de rotura (kg)	4600.00	4600.00	4400.00	5200.00	5400.00	5000.00	5800.00	5600.00	5400.00	4533.33	5200.00	5600.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	44.65	44.87	42.92	51.23	52.94	49.16	57.42	55.23	53.20	44.15	51.11	55.28
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	4.38	4.40	4.21	5.02	5.19	4.82	5.63	5.42	5.22	4.33	5.01	5.42
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.75	1.76	1.68	2.01	2.08	1.93	2.25	2.17	2.09	1.73	2.00	2.17
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.111	0.133	0.127	0.014	0.03	0.01	0.0330	0.0793	0.0550	0.12	0.02	0.06
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.00361	0.003245	0.004118	0.004170	0.004231	0.005490	0.004638	0.004362	0.004320	0.00366	0.00463	0.00444
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	460.74	509.17	382.59	484.28	490.68	352.34	483.77	484.08	475.87	450.83	442.42	481.24
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	5275.02	5249.84	4978.33	5659.54	5819.33	5630.30	5883.24	5741.01	5778.05	5167.73	5703.06	5800.78
Tiempo de ensayo (seg)	140.00	200.00	220.00	159.00	220.00	215.00	160.00	220.00	215.00	186.67	198.00	198.33
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.031	0.022	0.019	0.032	0.024	0.022	0.035	0.025	0.024	0.02	0.03	0.03
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

Fuente: Elaboración propia

Descripción: Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena C)

Densidad Aparente: 1400 kg/m<sup>3</sup>

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante

Tabla N° 98: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>, dosificación E-1.4

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes-Dosf.E									Promedio		
	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07	E-08	E-09	7 Días	14 Días	28 Días
Edad de ensayo	7 Días			14 Días			28 Días					--
Ancho (cm)	10.00	10.05	10.10	10.15	10.00	10.05	10.05	10.10	10.05			--
Largo (cm)	10.10	10.00	10.05	10.00	10.00	10.05	9.99	10.15	10.10			--
Altura (cm)	10.15	10.05	10.05	10.20	10.15	10.15	10.10	10.10	10.00			
Peso (gr)	1504.20	1518.80	1511.50	1519.40	1482.60	1528.30	1530.50	1525.80	1558.20			--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1467.30	1503.73	1481.68	1467.59	1460.69	1490.77	1509.32	1473.63	1535.10	1484.23	1473.02	1506.01
Carga máxima de rotura (kg)	4200.00	4700.00	4000.00	4800.00	5000.00	5600.00	5400.00	5300.00	5600.00	4300.00	5133.33	5433.33
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	41.58	46.77	39.41	47.29	50.00	55.44	53.79	51.70	55.17	42.59	50.91	53.55
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	4.08	4.59	3.86	4.64	4.90	5.44	5.27	5.07	5.41	-4.18	4.99	5.25
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.63	1.83	1.55	1.86	1.96	2.17	2.11	2.03	2.16	1.67	2.00	2.10
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MP)	0.095	0.088	0.015	0.242	0.03	0.03	0.033	0.10	0.08	0.07	0.10	0.07
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00005	0.00005	0.00005
Deformación al 40% de la compresión	0.0043	0.003847	0.003508	0.003173	0.005085	0.003760	0.004587	0.003740	0.003972	0.00388	0.00401	0.00410
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	361.58	460.06	442.67	516.56	383.97	579.28	457.77	521.35	531.49	421.43	493.27	503.54
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	4880.56	5369.67	4821.11	5206.25	5315.58	5771.28	5790.69	5477.17	6015.65	5023.78	5431.04	5761.17
Tiempo de ensayo (seg)	139.00	130.00	142.00	110.00	123.00	115.00	105.00	110.00	100.00	137.00	116.00	105.00
Velocidad de ensayo (MPa/seg)	0.029	0.035	0.027	0.042	0.040	0.047	0.050	0.046	0.054	0.03	0.04	0.05
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico			--

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 99: Resultados de ensayos de absorción y peso específico en especímenes cúbicos de Concreto Celular

Densidad Aparente	Clasificación	Ws	Wi	Wd	Wr	Absorción (%)		Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )
						%	kg/m <sup>3</sup>	
1000 kg/m <sup>3</sup>	EAF-10	1231.3	223.0	1067.8	1196.0	15.31	162.15	1059.01
	EAF-11	1245.7	233.6	1086.4	1222.0	14.66	157.40	1073.41
	EAF-12	1235.7	232.3	1066.0	1214.0	15.92	169.12	1062.39
	EA-10	1179.9	150.3	1043.0	1146.0	13.13	132.96	1013.01
	EA-11	1199.9	160.4	1054.2	1172.0	13.82	140.16	1014.14
	EA-12	1254.9	225.7	1089.1	1230.0	15.22	161.10	1058.20
	EF-10	1139.7	125.1	966.1	1110.0	17.97	171.10	952.20
	EF-11	1152.3	125.6	990.8	1128.0	16.30	157.30	965.03
	EF-12	1121.3	87.00	964.6	1088.0	16.25	151.50	932.61
	E-10	1243.2	203.6	1085.8	1214.0	14.50	151.40	1044.44
	E-11	1260.4	240.6	1108.4	1238.0	13.71	149.05	1086.88
	E-12	1225.3	198.4	1068.4	1200.0	14.69	152.79	1040.41
1200 kg/m <sup>3</sup>	EAF-10	1297.3	270.4	1148.0	1286.0	13.01	145.39	1117.93
	EAF-11	1317.1	277.1	1159.5	1300.0	13.59	151.54	1114.90
	EAF-12	1332.4	302.4	1189.5	1312.0	12.01	138.74	1154.85
	EA-10	1385.1	351.4	1234.3	1370.0	12.22	145.88	1194.06
	EA-11	1401.4	366.8	1253.3	1388.0	11.82	143.15	1211.39
	EA-12	1367.9	343	1234.5	1356.0	10.81	130.16	1204.51
	EF-10	1376.5	341.9	1195.4	1364.0	15.15	175.04	1155.42
	EF-11	1393.4	355.9	1221.0	1380.0	14.12	166.17	1176.87
	EF-12	1361.4	342.7	1212.6	1348.0	12.27	146.07	1190.34
	E-10	1325.9	304	1164.7	1306.0	13.84	157.75	1139.74
	E-11	1328.5	303.6	1161.5	1310.0	14.38	162.94	1133.28
	E-12	1288.4	270.5	1139.0	1272.0	13.12	146.77	1118.97
1400 kg/m <sup>3</sup>	EAF-10	1648.6	601.7	1476.5	1644.0	11.66	164.39	1410.35
	EAF-11	1663.2	618.6	1490.4	1658.0	11.59	165.42	1426.77
	EAF-12	1658.5	618.2	1490.2	1650.0	11.29	161.78	1432.47
	EA-10	1582.9	547.6	1418.9	1578.0	11.56	158.41	1370.52
	EA-11	1613.8	571.8	1432.9	1606.0	12.62	173.61	1375.14
	EA-12	1647.5	597.5	1476.0	1636.0	11.62	163.33	1405.71
	EF-10	1588.2	537.6	1399.5	1582.0	13.48	179.61	1332.10
	EF-11	1617.7	556.5	1430.9	1610.0	13.05	176.03	1348.38
	EF-12	1585.4	527.0	1418.7	1582.0	11.75	157.50	1340.42
	E-10	1550.2	535.3	1375.0	1510.1	12.74	172.63	1354.81
	E-11	1510.1	512.4	1340.0	1505.1	12.69	170.49	1343.09
	E-12	1560.8	551.4	1385.0	1520.4	12.69	174.16	1372.10

Fuente: Elaboración propia

## 7.5. ANEXO V: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO-MECANICOS EN BLOQUES DE CONCRETO CELULAR

Tabla N° 100: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Celular a los 7 días

Datos de Especímenes	Bloques de Concreto Celular-Dosf. EAF					Promedio
	Nomenclatura	BCC-01	BCC-02	BCC-03	BCC-04	
Edad de ensayo	7 Días					
Ancho promedio(cm)	9.20	9.25	9.30	9.10	9.15	
Largo promedio (cm)	39.25	39.10	39.20	39.15	39.15	
Altura promedio (cm)	19.40	19.15	19.20	19.30	19.18	
Peso (gr)	9925.00	9750.00	9685.00	10020.00	10345.00	9945.00
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1416.78	1407.72	1383.66	1457.26	1506.06	1434.30
Carga máxima de rotura (kg)	15400.00	14000.00	16150.00	15500.00	14800.00	15170.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	42.65	38.71	44.30	43.51	41.32	42.10
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	4.18	3.80	4.34	4.27	4.05	4.13
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.67	1.52	1.74	1.71	1.62	1.65
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.074	0.166	0.160	0.028	0.02	0.09
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00
Deformación al 40% de la compresión	0.004495	0.005255	0.003791	0.007125	0.007107	0.01
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	359.69	259.83	421.66	237.24	226.69	301.02
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	4689.51	4424.96	4612.91	4940.99	5058.79	4745.43
Tiempo de ensayo (min)	4.45	3.30	3.52	3.00	3.35	3.52
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.94	1.15	1.23	1.42	1.21	1.19
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 101: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Celular a los 14 días

Datos de Especímenes Nomenclatura	Bloques de Concreto Celular-Dosf. EAF					Promedio
	BBC-06	BBC-07	BBC-08	BBC-09	BBC-10	
Edad de ensayo	14 Días					
Ancho (cm)	9.02	9.00	9.18	9.45	9.43	
Largo (cm)	39.10	39.25	39.15	39.15	39.05	
Altura (cm)	19.20	19.20	19.25	19.13	19.50	
Peso (gr)	9930.00	9785.00	9840.00	9780.00	10050.00	9877.00
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1466.44	1443.51	1423.07	1382.21	1400.33	1423.11
Carga máxima de rotura (kg)	16400.00	16000.00	17400.00	19500.00	16700.00	17200.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	46.50	45.32	48.44	52.71	45.37	47.67
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	4.56	4.44	4.75	5.17	4.45	4.67
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	1.82	1.78	1.90	2.07	1.78	1.87
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.203	0.101	0.029	0.030	0.04	0.08
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00
Deformación al 40% de la compresión	0.003671	0.005554	0.004910	0.006600	0.006272	0.01
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	447.58	304.57	385.08	311.10	279.64	345.59
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	5156.51	4971.60	5031.23	5023.72	4753.13	4987.24
Tiempo de ensayo (min)	4.00	4.20	3.00	3.40	2.20	3.36
Velocidad de ensayo (MPa/min)	1.140	1.058	1.583	1.520	2.023	1.46
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 102: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Celular a los 28 días

Datos de Especímenes	Bloques de Concreto Celular-Dosf. EAF					Promedio
	Nomenclatura	BBC-11	BBC-12	BBC-13	BBC-14	
Edad de ensayo	28 Días					
Ancho (cm)	8.98	9.15	9.28	9.35	9.28	
Largo (cm)	39.10	39.13	39.10	39.05	39.10	
Altura (cm)	19.23	19.18	19.10	19.18	19.13	
Peso (gr)	9656.00	9752.00	9684.00	9826.00	9828.00	9749.20
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1431.26	1420.64	1398.08	1403.49	1417.01	1414.09
Carga máxima de rotura (kg)	26600.00	24900.00	25700.00	26500.00	25000.00	25740.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	75.80	69.55	70.87	72.58	68.94	71.55
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	7.43	6.82	6.95	7.12	6.76	7.02
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	2.97	2.73	2.78	2.85	2.70	2.81
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.024	0.037	0.033	0.263	0.21	0.11
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.00
Deformación al 40% de la compresión	0.00673	0.006340	0.003748	0.004793	0.003533	0.01
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	441.49	427.83	742.74	544.71	714.90	574.33
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	6348.10	6013.33	5925.79	6031.82	5963.66	6056.54
Tiempo de ensayo (min)	4.00	4.15	3.20	5.30	5.00	4.33
Velocidad de ensayo (MPa/min)	1.858	1.644	2.172	1.343	1.352	1.67
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 103: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular a los 07 días

Datos de Especímenes Nomenclatura	Bloques de Concreto Celular- Dosf. EAF-1.4			Promedio
	BCC T-01	BCC T-02	BCC T-03	
Edad de ensayo	7 Días			--
Ancho promedio (cm)	9.13	9.15	9.20	--
Largo promedio (cm)	39.10	39.20	39.08	--
Alto promedio (cm)	19.08	19.15	19.20	--
Peso (kg)	9650.00	10010.00	10150.00	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1417.92	1457.33	1470.54	1448.60
Longitud de tramo de ensayo (cm)	34.10	34.20	34.08	--
Carga máxima de rotura (kg)	970.00	1050.00	1150.00	1056.67
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	14.94	16.05	17.33	16.11
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	1.47	1.57	1.70	1.58
Tiempo de ensayo (min)	3.10	3.00	2.50	2.87
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.47	0.52	0.68	0.56
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	--

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N° 104: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular a los 14 días

Datos de Especímenes Nomenclatura	Bloques de Concreto Celular- Dosf. EAF-1.4			Promedio
	BCC T-04	BCC T-05	BCC T-06	
Edad de ensayo	14 Días			--
Ancho promedio (cm)	9.15	9.03	9.10	--
Largo promedio (cm)	39.13	39.00	39.05	--
Alto promedio (cm)	19.18	19.18	19.30	--
Peso (kg)	9720.00	9880.00	10015.00	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1415.97	1463.89	1460.26	1446.71
Longitud de tramo de ensayo (cm)	34.13	34.00	34.05	--
Carga máxima de rotura (kg)	1300.00	1250.00	1300.00	1283.33
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	19.78	19.21	19.59	19.53
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	1.94	1.88	1.92	1.91
Tiempo de ensayo (min)	3.33	3.15	3.55	3.34
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.58	0.60	0.54	0.57
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	--

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N° 105: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Celular a los 28 días

Datos de Especímenes Nomenclatura	Bloques de Concreto Celular- Dosf. EAF-1.4			Promedio
	BCC T-07	BCC T-08	BCC T-09	
Edad de ensayo	28 Días			--
Ancho promedio (cm)	9.48	9.23	9.13	--
Largo promedio (cm)	39.08	39.15	39.18	--
Alto promedio (cm)	19.18	19.28	19.40	--
Peso (kg)	9925.00	10245.00	10080.00	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1398.03	1471.70	1453.51	1441.08
Longitud de tramo de ensayo (cm)	34.08	34.15	34.18	--
Carga máxima de rotura (kg)	1695.00	1460.00	1440.00	1531.67
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	24.87	21.82	21.49	22.73
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.44	2.14	2.11	2.23
Tiempo de ensayo (min)	4.25	3.50	4.00	3.92
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.57	0.61	0.53	0.57
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 106: Resultados de ensayos de absorción y peso específico en bloques de Concreto Celular

Densidad Aparente	Clasificación	Ws	Wi	Wd	Wr	Absorción (%)		Contenido de Humedad (%)	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )
						%	kg/m <sup>3</sup>		
1400 kg/m <sup>3</sup>	BCC-01	10060	3420	9370	9865	7.36	103.92	71.74	1411.14
	BCC-02	10350	3555	9685	10115	6.87	97.87	64.66	1425.31
	BCC-03	9750	3115	8825	9515	10.48	139.41	74.59	1330.07
	BCC-04	10055	3345	9130	9865	10.13	137.85	79.46	1360.66
	BCC-05	10135	3330	9325	9945	8.69	119.03	76.54	1370.32
	BCC-06	9840	3205	8870	9630	10.94	146.19	78.35	1336.85
	BCC-07	10095	3280	9155	9910	10.27	137.93	80.32	1343.36
Promedio						9.25	126.03	75.10	1368.24

Fuente: Elaboración propia

## 7.6. ANEXO VI: RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR

Tabla N° 107: Resultados de compresión diagonal en muretes de bloques de Concreto Celular

Espécimen	Dimensiones					P. Max Kg	Area cm <sup>2</sup>	Vm	
	l (cm)	t (cm)	h (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)			kg/cm <sup>2</sup>	
MCC-01	59.50	9.30	59.50	83.50	83.45	4350	553.35	5.56	
MCC-02	59.80	9.00	60.00	83.70	83.50	5200	539.10	6.82	
MCC-03	59.50	9.10	59.90	84.30	84.30	4620	543.27	6.01	
MCC-04	59.60	9.30	59.90	84.20	84.15	4970	555.68	6.32	
<b>Vm Promedio</b>								6.18	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>								0.53	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistencia al corte V'm</b>								5.65	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de variación (Cv)</b>								8.59	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 108: Modulo de Corte (Gm) en muretes de boques de Concreto Celular

Espécimen	Dimensiones					P. Max Kg	Area cm <sup>2</sup>	Carga (P), kg		Deformación vertical		Deformación horizontal		(Gm) kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Gm), kg/cm <sup>2</sup>
	l (cm)	t (cm)	h (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)			P10%	P50%	$\epsilon$ v10%	$\epsilon$ v50%	$\epsilon$ h10%	$\epsilon$ 510%		
MCC-01	59.50	9.30	59.50	83.5	83.45	4350	553.35	435.00	2175	0.0177	0.0844	0.0214	0.0775	2136.77	2126.97
MCC-02	59.80	9.00	60.00	83.7	83.5	5200	539.10	520.00	2600	0.030065	0.130675	0.017462	0.068329	2130.22	
MCC-03	59.50	9.10	59.90	84.3	84.3	4620	543.27	462.00	2310	0.0253	0.1191	0.0209	0.0722	1977.35	
MCC-04	59.60	9.30	59.90	84.2	84.15	4970	555.68	497.00	2485	0.0162	0.1082	0.0284	0.0695	2263.56	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 109: Resultados de compresión axial en pilas de bloques de Concreto Celular

Especimen	Dimensiones			Esbeltez	P. Max	Area	fm	FC	f'm corregida
	L (cm)	A (cm)	H (cm)						
PCC-01	39	9.1	39.5	4.34	17000	354.9	47.9008	1.1738	56.2259791
PCC-02	39.4	9.15	40.00	4.37	16300	360.51	45.2137	1.1759	53.1668192
PCC-03	39.1	9.1	39.4	4.33	19750	355.81	55.5072	1.1731	65.1154408
PCC-04	39.1	9.1	39.8	4.37	20100	355.81	56.4908	1.1759	66.4275597
PCC-05	39.2	9.2	39.7	4.32	16200	360.64	44.9201	1.1724	52.6643744
PCC-06	39.1	9.15	39.4	4.31	21250	357.765	59.3965	1.1717	69.5949157
<b>fm promedio</b>									60.5325148 kg/cm2
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>									7.38362008 kg/cm2
<b>Resistencia característica (f'm)</b>									53.1488947 kg/cm2
<b>Coefficiente de variación (Cv)</b>									12.198 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 110: Modulo de elasticidad (Em) en pilas de bloques de Concreto Celular

Especimen	Dimensiones			P. Max	Area	Carga Axial (P) (kg)		Deformación ( $\epsilon$ ) (cm)		Módulo de Elasticidad Em (kg/cm2)
	L (cm)	A (cm)	H (cm)			Kg	cm2	P 10%	P 50%	
PCC-01	39	9.1	39.5	17000	354.9	1700.00	8500.00	0.0693	0.162968	8077.49
PCC-02	39.4	9.15	40.00	16000	360.51	1600.00	8000.00	0.0250	0.1074	8622.28
PCC-03	39.1	9.1	39.4	19500	355.81	1950.00	9750.00	0.0580	0.1235	13186.56
PCC-04	39.1	9.1	39.8	20000	355.81	2000.00	10000.00	0.0914	0.192195	8877.14
PCC-05	39.2	9.2	39.7	16000	360.64	1600.00	8000.00	0.1069	0.20861	6925.44
PCC-06	39.1	9.15	39.4	21000	357.765	2100.00	10500.00	0.1873	0.34077	6029.19
<b>Promedio</b>									<b>8619.68</b>	

Fuente: Elaboración propia

## 7.7. ANEXO VII: DISEÑO DEL MORTERO Y RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS EN CUBOS DE MORTERO

### DISEÑO ANALITICO DEL MORTERO (NTP 399.610 – ASTM C 270)

#### 1. MATERIALES

##### 1.1. CEMENTO (ASTM C 150)

- Pacasmayo Tipo I
- Peso específico: 3.12 kg/cm<sup>2</sup>

##### 1.2. ARENA (NTP 400.010 –ASTM C 144)

DESCRIPCION	Valor	und
Peso unitario suelto seco:	1.482	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado seco:	1.660	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa:	2.6013	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa sss:	2.6334	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente:	2.6876	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	1.24	%
Contenido de humedad:	2.00	%
Módulo de fineza:	2.44	
Porcentaje que pasa la malla n200	4.76	%
Asentamiento:	4" - 8"	

#### 2. PROPORCIONES (Mortero Tipo S)

- Dosificación en volumen 1:4 (cemento: arena)
- Relación a/c = 1
- Aire atrapado medido: 3.8 %

#### 3. MORTERO EN BASE A UNA BOLSA DE CEMENTO

- Cemento: 1 pie<sup>3</sup>
- Arena: 4 pie<sup>3</sup>

#### 4. PESO SECO DE LOS MATERIALES

- Cemento: 42.5 kg
- Arena:  $\frac{4 \times 1.482 \times 1000}{35} = 169.37 \text{ kg}$
- Agua:  $1 * 42.5 = 42.5 \text{ lt}$

## 5. VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATERIALES SIN AIRE ATRAPADO

➤ Cemento:  $\frac{42.5}{3120} = 0.0136 \text{ m}^3$

➤ Arena:  $\frac{169.37}{2601.3} = 0.0630 \text{ m}^3$

➤ Agua:  $\frac{42.5}{999.7} = 0.0425 \text{ m}^3$

Total: 0.1191 m<sup>3</sup>

- Considerando 3.8% de aire atrapado se tiene que volumen de materiales por m<sup>3</sup>=  
 $1-0.038= 0.962 \text{ m}^3$

## 6. FACTOR CEMENTO

➤  $FC = \frac{0.965}{0.1191} = 8.07 \text{ bolsas}$

## 7. CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

➤ Cemento:  $42.5 \times 8.07 = 343.164 \text{ kg/m}^3$

➤ Arena:  $169.37 \times 8.07 = 1367.58 \text{ kg/m}^3$

➤ Agua:  $42.5 \times 8.07 = 343.164 \text{ lt/m}^3$

## 8. MATERIALES CORREGIDOS POR HUEMDAD M3

➤ Cemento: 343.164 kg/m<sup>3</sup>

➤ Arena:  $1367.58 \times \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 1394.93 \text{ kg/m}^3$

➤ Agua:  $343.164 - 1367.58 \times \left(\frac{2-1.24}{100}\right) = 332.77 \text{ lt/m}^3$

## 9. PROPORCIONES EN PESO

$$\frac{343.164}{343.164} : \frac{1394.93}{343.164} : \frac{332.77}{8.07}$$

1: 4.06: 41.21 lt/bolsa

## 10. PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$\frac{1 \times 42.5}{42.5} : \frac{4.06 \times 42.5}{(1482 \times (1 + \frac{2}{100})) / 35} : \frac{332.77}{8.07}$$

1: 4.00: 41.21 lt/bolsa

## RESULTADOS DE ENSAYOS MECANICOS

Tabla N° 111: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión del mortero

Espé cime n	Carga (Kg)	Cara Superior			Cara Inferior			Area Prom. (cm2)	fc MPa (28 días)	f'c kg/cm <sup>2</sup> (28 días)
		L1 (cm)	L2 (cm)	Area (cm2)	L1 (cm)	L2 (cm)	Area (cm2)			
C-1	4080.00	5.10	5.10	26.01	5.10	5.10	26.01	26.01	15.38	156.86
C-2	4010.00	5.10	5.20	26.52	5.20	5.10	26.52	26.52	14.83	151.21
C-3	4350.00	5.10	5.10	26.01	5.10	5.10	26.01	26.01	16.40	167.24
C-4	4050.00	5.10	5.10	26.01	5.20	5.10	26.52	26.27	15.12	154.20
C-5	4030.00	5.10	5.10	26.01	5.10	5.10	26.01	26.01	15.19	154.94
C-6	4090.00	5.20	5.20	27.04	5.10	5.20	26.52	26.78	14.98	152.73
C-7	4020.00	5.20	5.10	26.52	5.20	5.10	26.52	26.52	14.87	151.58
C-8	3950.00	5.10	5.10	26.01	5.20	5.10	26.52	26.27	14.75	150.39
C-9	3860.00	5.20	5.20	27.04	5.20	5.10	26.52	26.78	14.13	144.14
C-10	4150.00	5.20	5.20	27.04	5.20	5.20	27.04	27.04	15.05	153.48
C-11	3960.00	5.20	5.10	26.52	5.20	5.20	27.04	26.78	14.50	147.87
C-12	3900.00	5.10	5.10	26.01	5.20	5.20	27.04	26.53	14.42	147.03
C-13	4170.00	5.20	5.20	27.04	5.10	5.20	26.52	26.78	15.27	155.71
C-14	3870.00	5.10	5.10	26.01	5.10	5.15	26.27	26.14	14.52	148.06
C-15	3890.00	5.15	5.20	26.78	5.10	5.10	26.01	26.40	14.45	147.38
C-16	4280.00	5.10	5.10	26.01	5.10	5.10	26.01	26.01	16.14	164.55
C-17	3915.00	5.20	5.20	27.04	5.10	5.10	26.01	26.53	14.47	147.60
C-18	3810.00	5.10	5.20	26.52	5.10	5.10	26.01	26.27	14.23	145.06
C-19	3950.00	5.10	5.10	26.01	5.10	5.20	26.52	26.27	14.75	150.39
C-20	3970.00	5.10	5.10	26.01	5.20	5.10	26.52	26.27	14.82	151.15
<b>Promedio resistencia fc</b>									14.91 MPa	152.08 Kg/cm2
<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>									0.58 MPa	5.89 Kg/cm2
<b>Resistencia compresión f'c</b>									14.34 MPa	146.19 Kg/cm2
<b>Coefficiente de variación (Cv)</b>									3.9%	3.9%

Fuente: Elaboración propia

**7.8. ANEXO VIII: ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS-ALBAÑILERIA DE LADRILLOS DE ARCILLA Y BLOQUES DE COCRETO CONVENCIONAL Y CELULAR**

Presupuesto	1.000	DISEÑO DE UN BLOQUE DE COCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL		Fecha presupuesto	20-11-2015	
Partida	01.001.001	Muro de bloques de Concreto Celular 09x19x39 mortero 1:4 x 1,0 cm				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 15.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : m2		38.05
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147060001	MO: Operario	hh	1.0000	0.5333	10.13	5.40
0147100001	MO: Peón	hh	0.5000	0.2667	8.25	2.20
<b>Materiales</b>						
0204020001	Arena fina	m3		0.0034	40.00	0.14
217070511	Bloque de Concreto Celular 09x19x39	und		12.5000	2.26	28.25
0221010102	Cemento portland I ; en bolsa	und		0.0518	22.50	1.17
0239020010	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.0021	5.00	0.01
<b>Equipos</b>						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		0.0300	7.60	0.23
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.4233	1.56	0.66
						0.89
Partida	01.001.002	Muro de bloques de concreto 12x20x40 mortero 1:4 x 1,5 cm				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m2		33.23
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147060001	MO: Operario	hh	1.0000	0.6667	10.13	6.75
0147100001	MO: Peón	hh	0.5000	0.3333	8.25	2.75

<b>Materiales</b>						
0204020001	Arena gruesa	m3		0.0300	40.00	1.20
217070508	Bloque de concreto 12x20x40	und		12.5000	1.25	15.63
0221010102	Cemento portland I ; en bolsa	und		0.2630	22.50	5.92
0239020010	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.0080	5.00	0.04
						<b>22.78</b>

<b>Equipos</b>						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		0.0300	9.50	0.29
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.4233	1.56	0.66
						<b>0.95</b>

<b>Partida</b>	<b>01.001.003</b>	<b>Muros de ladrillo kk de arcilla de soga mortero 1:4 x 1,5 cm</b>				
<b>Rendimiento</b>	<b>m2/DIA</b>	<b>MO. 11.0000</b>	<b>EQ. 11.0000</b>	<b>Costo unitario directo por :</b>	<b>m2</b>	<b>39.18</b>

<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>						
0147060001	MO: Operario	h	1.0000	0.7273	10.13	7.37
0147100001	MO: Peón	h	0.5000	0.3636	8.25	3.00
						<b>10.37</b>

<b>Materiales</b>						
0204020001	Arena gruesa	m3		0.0300	40.00	1.20
217070515	Ladrillo de arcilla king kong(a máquina)	und		47.0000	0.44	20.68
0221010102	Cemento portland I ; en bolsa	und		0.2630	22.50	5.92
0239020010	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.0080	5.00	0.04
						<b>27.84</b>

<b>Equipos</b>						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		0.0300	10.37	0.31
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.4233	1.56	0.66
						<b>0.97</b>

Partida	01.001.004	Tarrajeo de muros de ladrillo kk de arcilla de sogá, mezcla 1:5, 1.5 cm					
Rendimiento	m2/DIA		MO. 25.2000	EQ. 25.2000	Costo unitario directo por : m2		13.47

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147060001	MO: Operario	h	2.0000	0.6349	10.13	6.43
0147100001	MO: Peón	h	1.0000	0.3175	8.25	2.62
<b>Materiales</b>						
0204010001	Arena fina	m3		0.0160	45.00	0.72
0221010102	Cemento portland I ; en bolsa	und		0.1170	22.50	2.63
0239020010	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.0040	5.00	0.02
<b>Equipos</b>						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		0.0300	9.05	0.27
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.5000	1.56	0.78
						<b>1.05</b>

Partida	01.001.005	Pintado exterior c/teknomate o similar de muros					
Rendimiento	m2/DIA		MO. 32.0000	EQ. 32.0000	Costo unitario directo por : m2		6.79

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147060001	MO: Operario	h	1.0000	0.2500	10.13	2.53
0147100001	MO: Peón	h	0.2500	0.0625	8.25	0.52
<b>Materiales</b>						
0254050008	Pintura imprimante base, (envase por galón)	und		0.0500	22.75	1.14
0254140001	Pintura teknomate o supermate o similar, envase por galón	und		0.0400	53.10	2.12
<b>Equipos</b>						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		0.0300	3.05	0.09
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.2500	1.56	0.39
						<b>0.48</b>

## 7.9. ANEXO IX: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA ESPECIMENES CUBICOS

### DENSIDAD APARENTE 1000 [kg/cm<sup>2</sup>]

**Descripción:** Espécimen cubico de Concreto Celular

**Arena:** Cantera la Victoria (Arena A)

**Dosificación:** Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno + Aditivo plastificante

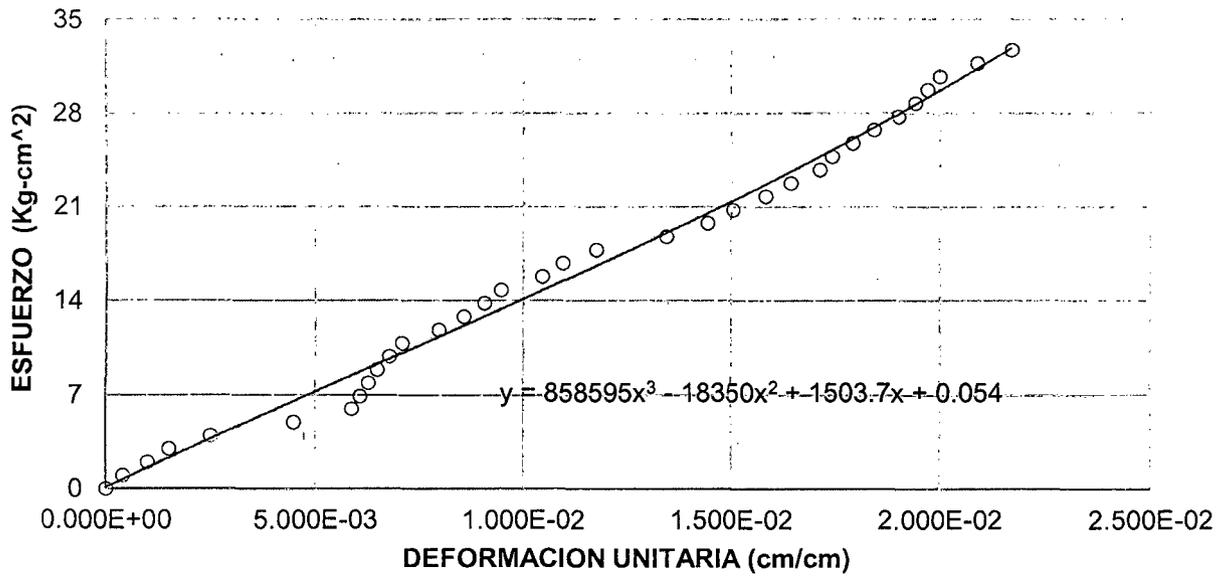
<b>Muestra</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Peso gr</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P.U.S (kg/m<sup>3</sup>)</b>
AEF-07	10.10	10.00	10.05	1219.40	3300	101.00	1201.32

Tabla N° 112: Esfuerzo y deformación unitaria del espécimen AEF-07 (Da= 1000 kg/m<sup>3</sup>)

<b>Carga (Kg)</b>	<b>Def. (cm)</b>	<b>Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Def. Unit. (cm/cm)</b>	<b>Carga (Kg)</b>	<b>Def. (cm)</b>	<b>Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Def. Unit. (cm/cm)</b>
0	0.000	0.00000	0.00000	1800	0.118	17.82178	0.01174
100	0.004	0.99010	0.00040	1900	0.135	18.81188	0.01343
200	0.010	1.98020	0.00100	2000	0.145	19.80198	0.01443
300	0.015	2.97030	0.00149	2100	0.151	20.79208	0.01502
400	0.025	3.96040	0.00249	2200	0.159	21.78218	0.01582
500	0.045	4.95050	0.00448	2300	0.165	22.77228	0.01642
600	0.059	5.94059	0.00587	2400	0.172	23.76238	0.01711
700	0.061	6.93069	0.00607	2500	0.175	24.75248	0.01741
800	0.063	7.92079	0.00627	2600	0.180	25.74257	0.01791
900	0.065	8.91089	0.00647	2700	0.185	26.73267	0.01841
1000	0.068	9.90099	0.00677	2800	0.191	27.72277	0.01900
1100	0.071	10.89109	0.00706	2900	0.195	28.71287	0.01940
1200	0.080	11.88119	0.00796	3000	0.198	29.70297	0.01970
1300	0.086	12.87129	0.00856	3100	0.201	30.69307	0.02000
1400	0.091	13.86139	0.00905	3200	0.210	31.68317	0.02090
1500	0.095	14.85149	0.00945	3300	0.218	32.67327	0.02169
1600	0.105	15.84158	0.01045				
1700	0.110	16.83168	0.01095				

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafico N° 27:** Esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen AEF-07 (Da= 1000 kg/m3)



Fuente: Elaboración propia

### DENSIDAD APARENTE 1200 [kg/cm2]

Descripción: Espécimen cubico de Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena B)

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno + Aditivo plastificante

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	P.U.S (kg/m <sup>3</sup> )
AEF-09	10.10	10.20	10.15	1316.30	5000	103.02	1258.83

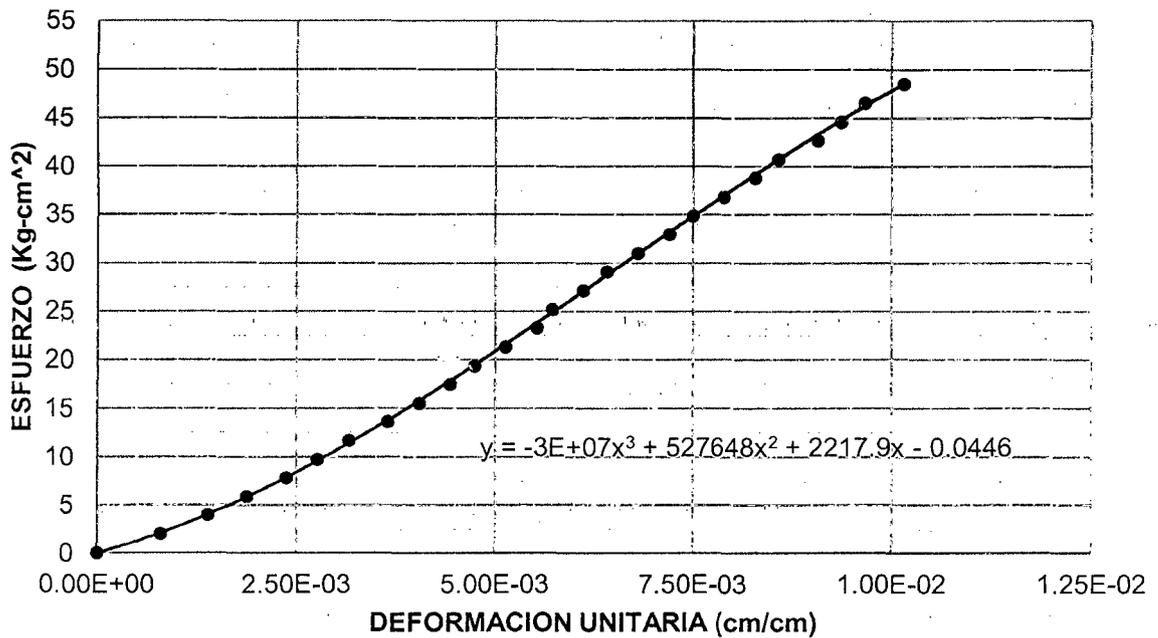
**Tabla N° 113:** Esfuerzo y deformación unitaria del espécimen AEF-09 (Da= 1200 kg/m3)

Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)	Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)
0	0.000	0.00000	0.00000	2800	0.062	27.17919	0.00611
200	0.008	1.94137	0.00079	3000	0.065	29.12056	0.00640
400	0.014	3.88274	0.00138	3200	0.069	31.06193	0.00680
600	0.019	5.82411	0.00187	3400	0.073	33.00330	0.00719
800	0.024	7.76548	0.00236	3600	0.076	34.94467	0.00749
1000	0.028	9.70685	0.00276	3800	0.080	36.88604	0.00788
1200	0.032	11.64822	0.00315	4000	0.084	38.82741	0.00828
1400	0.037	13.58959	0.00365	4200	0.087	40.76878	0.00857

1600	0.041	15.53096	0.00404	4400	0.092	42.71015	0.00906
1800	0.045	17.47234	0.00443	4600	0.095	44.65152	0.00936
2000	0.048	19.41371	0.00473	4800	0.098	46.59289	0.00966
2200	0.052	21.35508	0.00512	5000	0.103	48.53427	0.01015
2400	0.056	23.29645	0.00552				
2600	0.058	25.23782	0.00571				

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 28: Esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen AEF-09 (Da= 1200 kg/m3)



Fuente: Elaboración propia

### DENSIDAD APARENTE 1400 [kg/cm2]

Descripción: Especimen cubico de Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena C)

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno + Aditivo plastificante

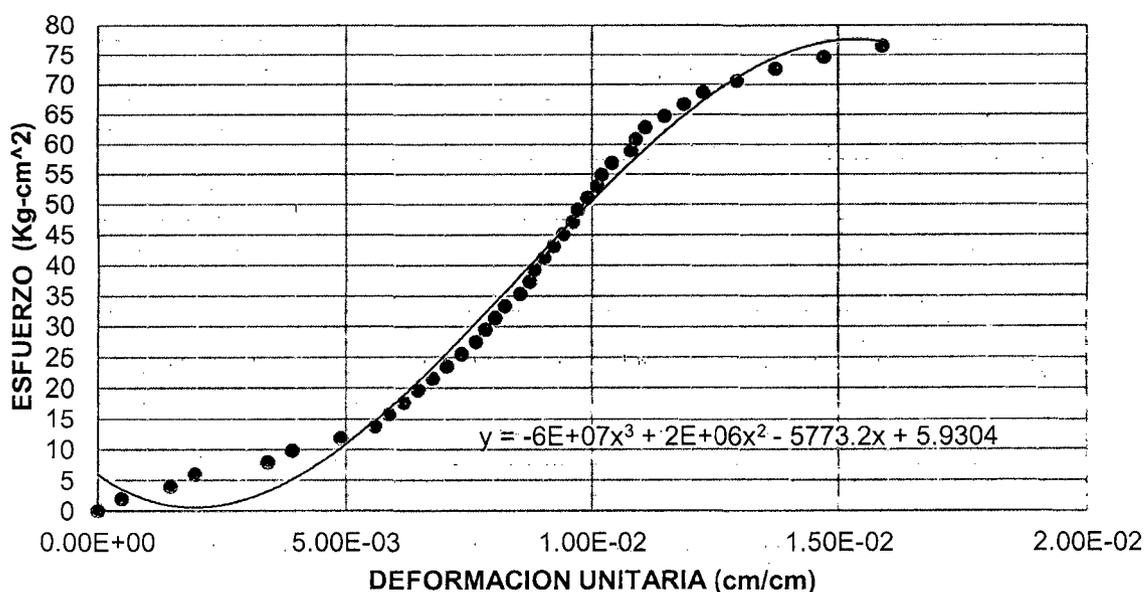
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Carga (kg)	Área (cm2)	P.U.S (kg/m3)
AEF-08	10.05	10.15	10.20	1613.30	7800	102.01	1550.54

Tabla N° 114: Esfuerzo y deformación unitaria del espécimen AEF-08 (Da= 1400 kg/m<sup>3</sup>)

Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)	Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)
0	0.000	0.00000	0.00000	4200	0.092	41.17344	0.00902
200	0.005	1.96064	0.00049	4400	0.094	43.13408	0.00922
400	0.015	3.92128	0.00147	4600	0.096	45.09472	0.00941
600	0.020	5.88192	0.00196	4800	0.098	47.05536	0.00961
800	0.035	7.84256	0.00343	5000	0.099	49.01600	0.00971
1000	0.040	9.80320	0.00392	5200	0.101	50.97664	0.00990
1200	0.050	11.76384	0.00490	5400	0.103	52.93728	0.01010
1400	0.057	13.72448	0.00559	5600	0.104	54.89792	0.01020
1600	0.060	15.68512	0.00588	5800	0.106	56.85856	0.01039
1800	0.063	17.64576	0.00618	6000	0.110	58.81920	0.01078
2000	0.066	19.60640	0.00647	6200	0.111	60.77984	0.01088
2200	0.069	21.56704	0.00676	6400	0.113	62.74048	0.01108
2400	0.072	23.52768	0.00706	6600	0.117	64.70112	0.01147
2600	0.075	25.48832	0.00735	6800	0.121	66.66177	0.01186
2800	0.078	27.44896	0.00765	7000	0.125	68.62241	0.01225
3000	0.080	29.40960	0.00784	7200	0.132	70.58305	0.01294
3200	0.082	31.37024	0.00804	7400	0.140	72.54369	0.01373
3400	0.084	33.33088	0.00824	7600	0.150	74.50433	0.01471
3600	0.087	35.29152	0.00853	7800	0.162	76.46497	0.01588
3800	0.089	37.25216	0.00873				
4000	0.090	39.21280	0.00882				

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 29: Esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen AEF-09 (Da= 1400 kg/m<sup>3</sup>)



Fuente: Elaboración propia

## 7.10. ANEXO X: CURVA REPRESENTATIVA DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA – BLOQUES DE CONCRETO CELULAR

### DENSIDAD APARENTE 1400 [kg/cm<sup>2</sup>]

Descripción: Bloque de Concreto Celular

Arena: Cantera la Victoria (Arena C)

Dosificación: Arena + Cemento + Aditivo Espumante + Fibra de polipropileno + Aditivo plastificante

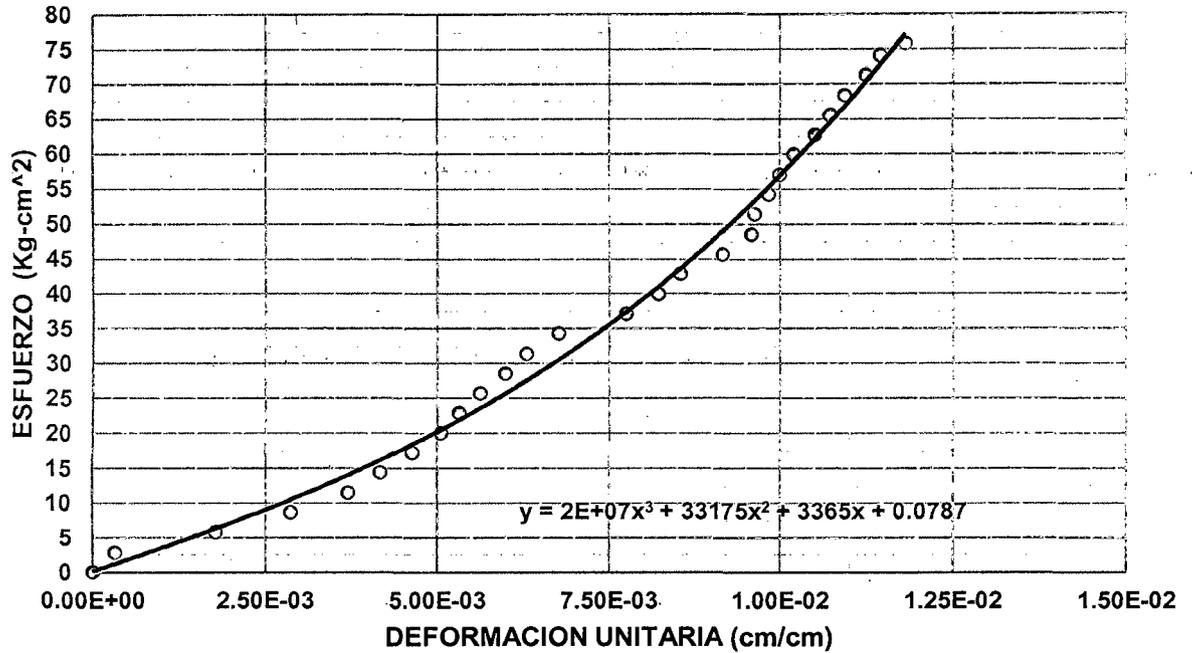
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso gr	Carga (kg)	Area (cm <sup>2</sup> )	P.U.S (kg/m <sup>3</sup> )
BCC-11	8.98	39.10	19.23	9956.00	26600	350.92	1475.73

Tabla N° 115: Esfuerzo y deformación unitaria del bloque BCC-11 (Da= 1400 kg/m<sup>3</sup>)

Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)	Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)
0	0.000	0.00000	0.00000	14000	0.158	39.89485	0.00822
1000	0.006	2.84963	0.00031	15000	0.164	42.74448	0.00853
2000	0.034	5.69926	0.00177	16000	0.176	45.59411	0.00915
3000	0.055	8.54890	0.00286	17000	0.184	48.44374	0.00957
4000	0.071	11.39853	0.00369	18000	0.185	51.29338	0.00962
5000	0.080	14.24816	0.00416	19000	0.189	54.14301	0.00983
6000	0.089	17.09779	0.00463	20000	0.192	56.99264	0.00999
7000	0.097	19.94742	0.00505	21000	0.196	59.84227	0.01020
8000	0.102	22.79706	0.00531	22000	0.202	62.69190	0.01051
9000	0.108	25.64669	0.00562	23000	0.206	65.54154	0.01072
10000	0.115	28.49632	0.00598	24000	0.210	68.39117	0.01092
11000	0.121	31.34595	0.00629	25000	0.216	71.24080	0.01124
12000	0.130	34.19558	0.00676	26000	0.220	74.09043	0.01144
13000	0.149	37.04522	0.00775	26600	0.227	75.80021	0.01181

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 30: Esfuerzo Vs deformación unitaria del bloque BCC-11 (Da= 1400 kg/m3)



Fuente: Elaboración propia

## 7.11. ANEXO XI: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA – PRISMAS DE ALBAÑILERIA

### PILAS

Descripción: Pila de bloques de Concreto Celular

Mortero: 1:4 (Cemento: Arena)

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Area (cm <sup>2</sup> )
PCC-06	9.15	39.10	39.4	21250	357.765

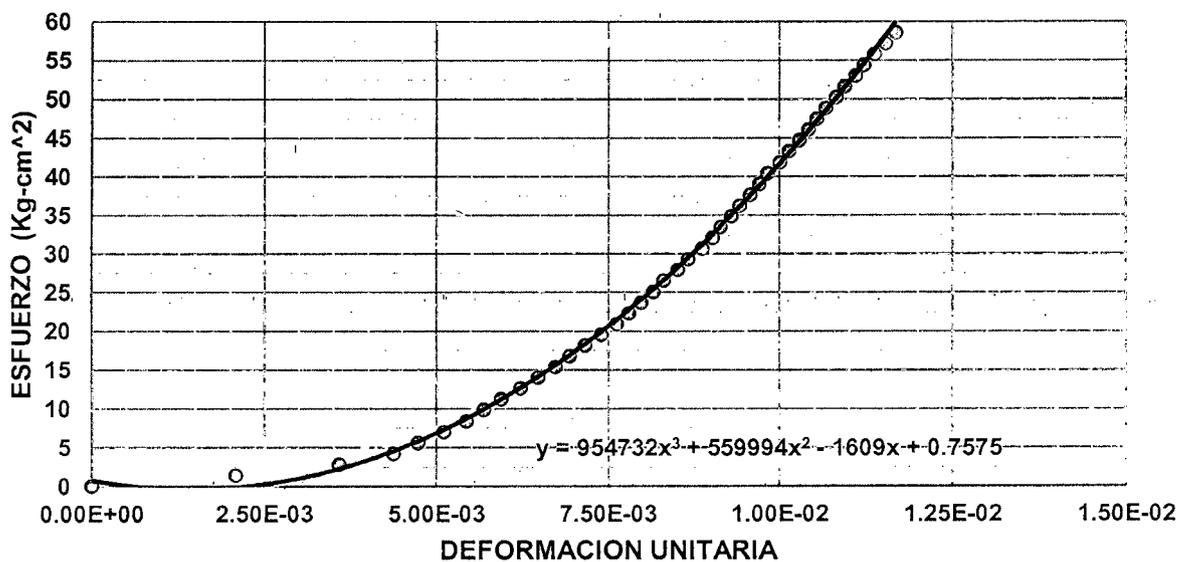
Tabla N° 116: Esfuerzo y deformación unitaria Pila PCC-06

Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)	Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)
0	0.000	0.00000	0.00000	10500	0.341	29.34887	0.00865
500	0.082	1.39757	0.00208	11000	0.349	30.74644	0.00886
1000	0.141	2.79513	0.00358	11500	0.355	32.14401	0.00901
1500	0.172	4.19270	0.00437	12000	0.360	33.54157	0.00914
2000	0.186	5.59026	0.00472	12500	0.366	34.93914	0.00929
2500	0.201	6.98783	0.00510	13000	0.371	36.33670	0.00942
3000	0.214	8.38539	0.00543	13500	0.377	37.73427	0.00957
3500	0.224	9.78296	0.00569	14000	0.382	39.13183	0.00970

4000	0.234	11.18052	0.00594	14500	0.387	40.52940	0.00982
4500	0.245	12.57809	0.00622	15000	0.394	41.92696	0.01000
5000	0.255	13.97565	0.00647	15500	0.399	43.32453	0.01013
5500	0.265	15.37322	0.00673	16000	0.405	44.72209	0.01028
6000	0.273	16.77079	0.00693	16500	0.410	46.11966	0.01041
6500	0.282	18.16835	0.00716	17000	0.415	47.51722	0.01053
7000	0.291	19.56592	0.00739	17500	0.420	48.91479	0.01066
7500	0.300	20.96348	0.00761	18000	0.426	50.31236	0.01081
8000	0.307	22.36105	0.00779	18500	0.431	51.70992	0.01094
8500	0.314	23.75861	0.00797	19000	0.437	53.10749	0.01109
9000	0.321	25.15618	0.00815	19500	0.442	54.50505	0.01122
9500	0.327	26.55374	0.00830	20000	0.448	55.90262	0.01137
10000	0.335	27.95131	0.00850	20500	0.454	57.30018	0.01152
				21000	0.460	58.69775	0.01168

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 31: Esfuerzo Vs deformación unitaria Pila PCC-06



Fuente: Elaboración propia

## MURETES

Descripción: Murete de bloques de Concreto Celular

Mortero: 1:4 (Cemento; Arena)

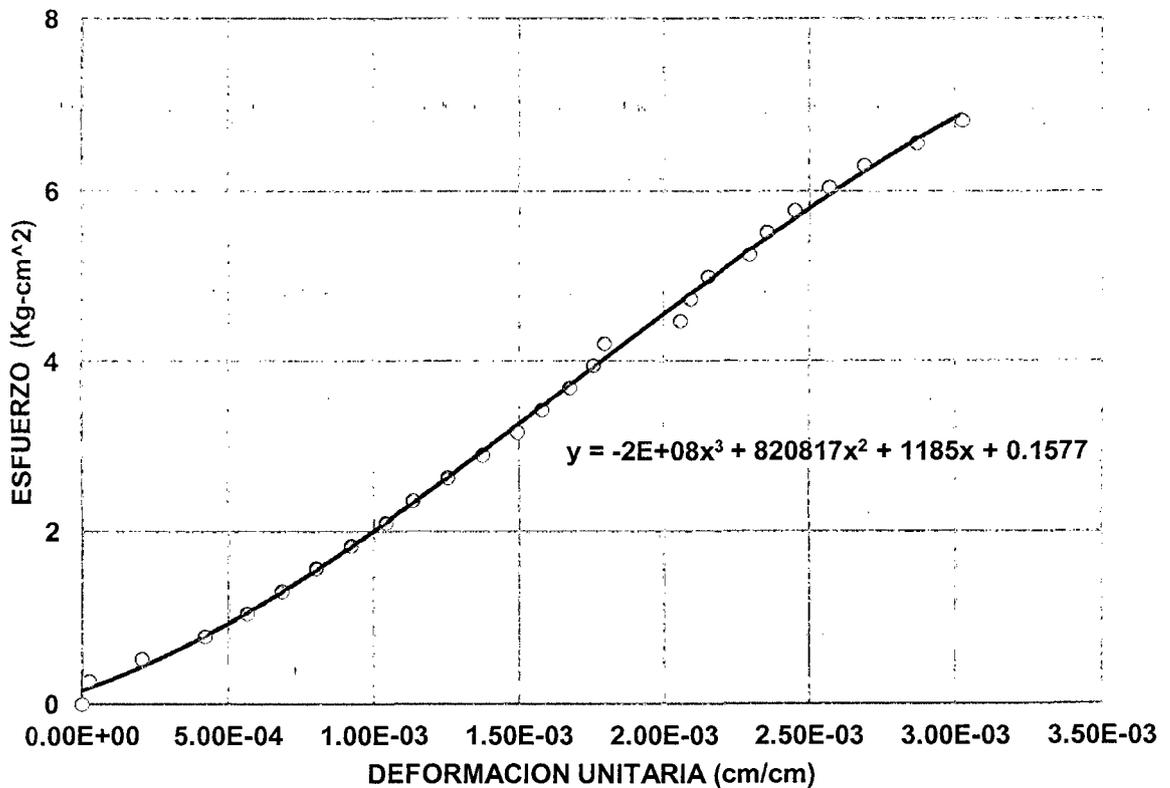
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Dv (cm)	Dh (cm)	Carga (kg)	Area (cm <sup>2</sup> )
MCC-02	9.30	59.80	60.00	83.7	83.5	5200	539.10

Tabla N° 117: Esfuerzo y deformación unitaria vertical murete MCC-02

Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)	Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)
0	0.000	0.00000	0.00000	2600	0.132	3.40976	0.00158
200	0.002	0.26229	0.00002	2800	0.140	3.67205	0.00167
400	0.017	0.52458	0.00020	3000	0.147	3.93434	0.00176
600	0.035	0.78687	0.00042	3200	0.150	4.19662	0.00179
800	0.047	1.04916	0.00056	3400	0.172	4.45891	0.00205
1000	0.057	1.31145	0.00068	3600	0.175	4.72120	0.00209
1200	0.067	1.57373	0.00080	3800	0.180	4.98349	0.00215
1400	0.077	1.83602	0.00092	4000	0.192	5.24578	0.00229
1600	0.087	2.09831	0.00104	4200	0.197	5.50807	0.00235
1800	0.095	2.36060	0.00114	4400	0.205	5.77036	0.00245
2000	0.105	2.62289	0.00125	4600	0.215	6.03265	0.00257
2200	0.115	2.88518	0.00137	4800	0.225	6.29494	0.00269
2400	0.125	3.14747	0.00149	5000	0.240	6.55723	0.00287
				5200	0.253	6.81951	0.00302

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 32: Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical murete MCC-02



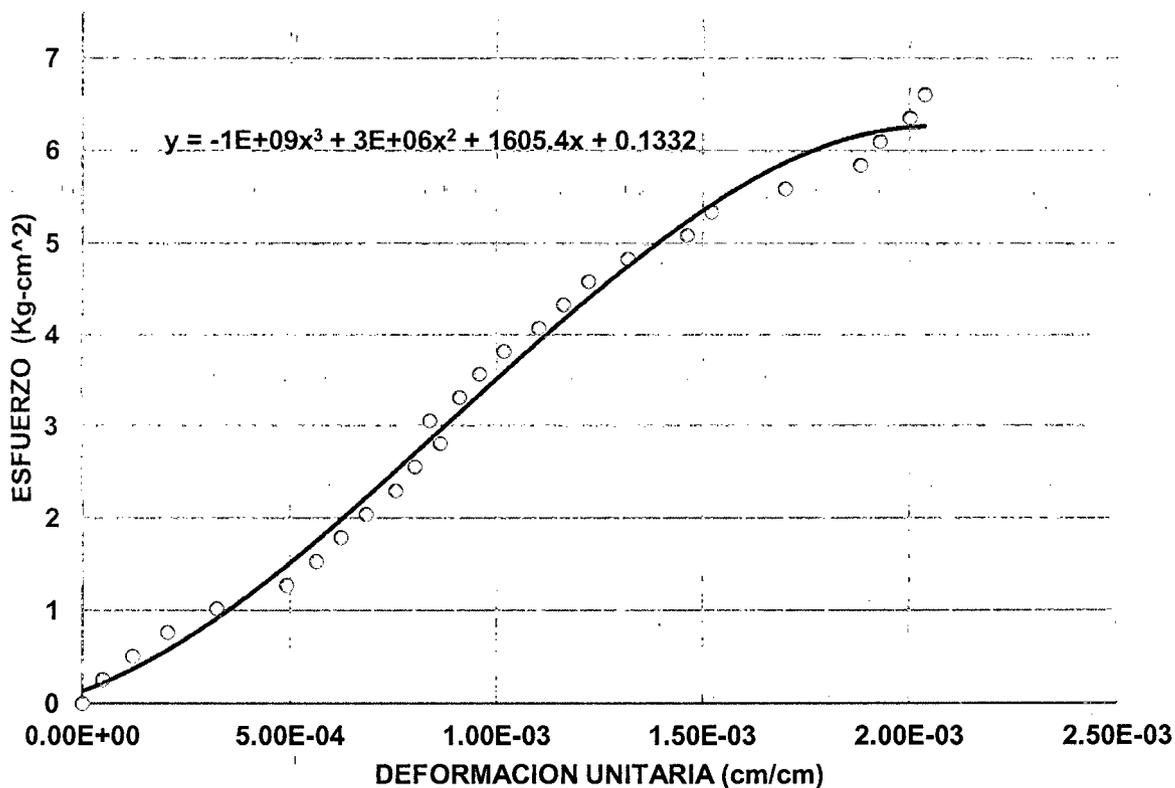
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 118: Esfuerzo y deformación unitaria horizontal murete MCC-02

Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)	Carga (Kg)	Def. (cm)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (cm/cm)
0	0.000	0.00000	0.00000	2800	0.080	3.56251	0.00096
200	0.004	0.25447	0.00005	3000	0.085	3.81698	0.00102
400	0.010	0.50893	0.00012	3200	0.092	4.07144	0.00110
600	0.017	0.76340	0.00020	3400	0.097	4.32591	0.00116
800	0.027	1.01786	0.00032	3600	0.102	4.58038	0.00122
1000	0.041	1.27233	0.00049	3800	0.110	4.83484	0.00132
1200	0.047	1.52679	0.00056	4000	0.122	5.08931	0.00146
1400	0.052	1.78126	0.00062	4200	0.127	5.34377	0.00152
1600	0.057	2.03572	0.00068	4400	0.142	5.59824	0.00170
1800	0.063	2.29019	0.00075	4600	0.157	5.85270	0.00188
2000	0.067	2.54465	0.00080	4800	0.161	6.10717	0.00193
2200	0.072	2.79912	0.00086	5000	0.167	6.36163	0.00200
2400	0.070	3.05358	0.00084	5200	0.170	6.61610	0.00204
2600	0.076	3.30805	0.00091				

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 33: Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal murete MCC-02



Fuente: Elaboración propia

## 7.12. ANEXO XII: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002  
Versión 01

### Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150  
Pacasmayo, 13 de febrero 2015

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.5	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por ignición	%	1.9	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.39	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	9	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.11	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	3520	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

#### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	28.4 (290)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	35.0 (356)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	41.9 (427)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

#### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	166	Mínimo 45
Fraguado Final	min	318	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el período del 01-01-2015 al 31-01-2015.  
La resistencia a compresión a 28 días corresponde al mes de diciembre 2014.

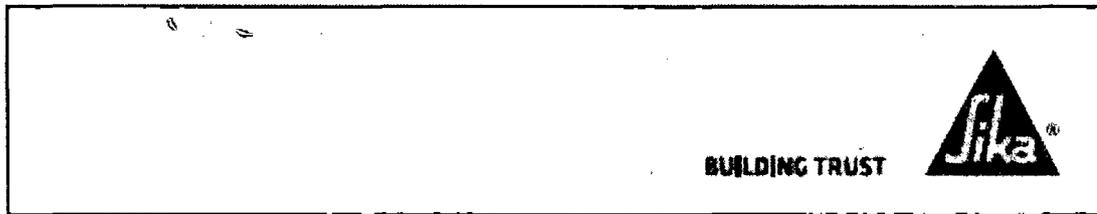
(\*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff Rojas  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

## 7.13. ANEXO XIII: FICHA TÉCNICA SIKAMENT 290N



# HOJA TÉCNICA Sikament®-290N

Aditivo Polifuncional para Concreto

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikament®-290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.

Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo.

Sikament®-290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

#### USOS

Sikament®-290N está particularmente indicado para:

Todo tipo de concretos fabricados en plantas concretoras con la ventaja de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.

En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.

Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.

Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.

Hoja Técnica  
Sikament®-290N  
22.01.88, Edición II

1/4

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de conglomerados.</li> <li>Reductor de agua.</li> </ul>
<b>NORMAS</b>	Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.

## DATOS BÁSICOS

<b>FORMA</b>	<b>ASPECTO:</b> Líquido  <b>COLOR:</b> Fondo oscuro.  <b>PRESENTACIÓN:</b> Címbra x 200 L Balde x 20 L Dispenser x 1000 L Granel x 3L
--------------	---

<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b>  Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.
-----------------------	---

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD:</b> 1,20 kg/L +/- 0,02 <b>LESGBC VALORACIÓN LEED</b>  Sikament® -250 N cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.  Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)
-----------------------	---

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b>  Como plastificante: del 0,3 % - 0,7 % del peso del cemento.  Como superplastificante: del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento.
-------------------------------	---

<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>  Como Plastificante.  Debe incorporarse junto con el agua de amasado.
-----------------------------	---

Hoja Técnica  
Sikament®-250N  
22.01.15, 68486 v.13



---

Como Superplastificante.

Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m<sup>3</sup> de carga de la amasadora o camión concretero.

---

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

### PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

---

### OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sita.com.pe](http://www.sita.com.pe)

---

### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sita son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sita respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplican los productos Sita con las particularidades que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o subcontratación del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las marcas puestas deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sita Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sita Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hoja Técnica de los productos, cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web: [www.sita.com.pe](http://www.sita.com.pe).

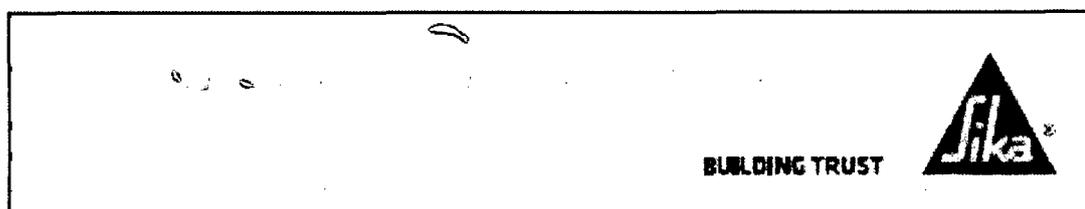
---

"La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 10

la misma que deberá ser destruida"

---

## 7.14. ANEXO XIV: FICHA TÉCNICA SIKAFIBER



# HOJA TÉCNICA Sikafiber® PE

Fibra de Polipropileno para el refuerzo de concreto

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikafiber® PE, es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que evita el agrietamiento de concretos y morteros.

Sikafiber® PE está compuesto por una mezcla de monofilamentos recortados y enrollados.

Durante la mezcla Sikafiber® PE se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

#### USOS

- Losas de concreto (placas, pavimentos, techos, etc)
- Mortero y concreto proyectado (Shotcrete).
- Paneles de fachada.
- Elementos prefabricados.
- Revestimientos de canales.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

La adición de Sikafiber® PE, sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

- Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.
- Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor medida mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.
- La acción del Sikafiber PE es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### ASPECTO

Fibra  
COLOR  
Crema

Hoja Técnica:  
Sikafiber® PE  
Sika-144, 6/2017

**PRESENTACIÓN**

Bolsa de 500 g.

**ALMACENAMIENTO**

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Un año en un lugar seco y bajo techo, en envases bien cerrados.

**DATOS TÉCNICOS****DENSIDAD REAL APROX.**

0,91 kg/L

**ABSORCIÓN DE AGUA**

Ninguna

**MÓDULO DE ELASTICIDAD**19.000 kg/cm<sup>2</sup>**ALARGAMIENTO DE ROTURA**

21-30%

**RESISTENCIA A TRACCIÓN**300 - 320 kg/cm<sup>2</sup>**RESISTENCIA QUÍMICA**

Inerte a los ácidos del cemento, ácidos en general, agua de mar, resinas alifáticas y epoxídicas, aceites vegetales. No se pudre y es resistente a hongos y bacterias.

**DEFORMABILIDAD**

Inelástica

**TEMPERATURA DE FUSIÓN**

150-170 °C

**LONGITUD**

19 mm

**ANCHOVA**

A los concretos a los que se agregan Sikafiber® PE cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C1316

**PRECALCULACIONES**

Sikafiber® PE no sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo.

La adición de Sikafiber® PE no evita las grietas debidas de un mal dimensionamiento y aunque ayuda a controlarlas, no evita las grietas producidas de un deficiente curado.

La adición de Sikafiber® PE es compatible con cualquier otro aditivo de sílice.

**INFORMACIÓN DEL SISTEMA****MÉTODO DE APLICACIÓN****MODO DE EMPLEO**

Se agrega, en jeringa o a pie de obra directamente a la mezcla de concreto o mortero. No diluir en el agua de limpieza. Una vez añadido el Sikafiber® PE basta con prolongar el mezclado al menos 3 minutos.

**DOSEIFICACIÓN**El Sikafiber® PE se empleará para todo tipo de concretos hasta  $f'c = 300$  kg/cm<sup>2</sup> se debe usar 500 gr por m<sup>3</sup> de concreto y para concretos de alta resistencia mayores a  $f'c = 300$  kg/cm<sup>2</sup> se coborará 1 kg/m<sup>3</sup>

Usar de 2 a 8 Kg. En caso de mezcla de mortero

**INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD****PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACIÓN**

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evita el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protégase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

High Tensile  
Concrete® PE  
Sika Ltda. Ecuador /

2/3

BLINDING TRUST



**OBSERVACIONES**

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradecemos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6050 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

**NOTAS LEGALES**

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son propiedades de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, selección y cuidado de los mismos adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la compatibilidad o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como alguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las marcas propias deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Condiciones Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hoja Técnica de los productos, cuyos copios se entregarán a solicitud del interesado o a los que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 1  
la misma que deberá ser destruida"**

**PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikafiber® PE :**

**1- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS.**



**2- SIKA CIUDAD VIRTUAL**



Sika Perú S.A.  
Calle  
Centro Industrial "Los Páramos"  
de Lurín s/n MC R, Lotes 5 y 6,  
Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)  
  
Hoja Técnica:  
Sikafiber® PE  
M.C.I.14. 00000 2

Vendido solamente por: Sika Perú S.A.  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6050  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2018 Sika Perú S.A.



## 7.15. ANEXO XV: FICHA TÉCNICA ADIKRETE

# Aditivos para hormigón

FICHA TÉCNICA E INSTRUCCIÓN DE USO  
Agosto de 2005

## Adikrete

### Aditivo espumígeno para hormigón celular

Adikrete es un aditivo líquido, incoloro, sin cloruros, utilizado para incorporar un alto porcentaje de microburbujas de aire estabilizado, tanto a los morteros de cemento y arena, como a las pastas de cemento. El aditivo actúa sobre la tensión superficial del agua y la producción de espuma se produce por acción mecánica, siendo fundamental la eficiencia del batido.

#### Características y propiedades

Incorpore a la mezcla de hormigón un elevado porcentaje de espuma haciéndola bien fluida permitiendo su transporte y descarga de manera similar a las convencionales.  
Permite obtener densidades de hasta 1300 kg/m<sup>3</sup>.  
Produce hormigones bombeables con bombas rotativas.  
Brinda al material terminado excelentes propiedades aislantes de temperatura y sonido.  
Se obtienen mezclas plásticas, compactas y homogéneas.  
Permite una reducción considerable del agua de amasado.  
No altera los tiempos de fragado lo que permite una variada dosificación según la necesidad de prestación manteniendo los valores de resistencia mecánicas en el hormigón endurecido.  
Se obtienen hormigones más resistentes a los ciclos de congelamiento y deshielo.

#### Usos e información

El principio de funcionamiento del Adikrete está basado en la ocusión uniforme de micro burbujas que se expanden dentro de la masa ocupando espacios y generando cavidades vacías que hacen disminuir el peso de la masa endurecida de manera considerable.

Adikrete es indicado para morteros celulares de menores densidades (300 – 1000 kg/m<sup>3</sup>), (aislaciones térmicas y acústicas) así como también para hormigones celulares de uso estructural, trabajando en el rango de 1300 a 1800 kg/m<sup>3</sup>; (contrapisos, tabiques aislantes y resistentes, muros, etc.).

#### Aplicación y consumo

- Para hormigones celulares de 300 a 1000 kg/cm<sup>3</sup> se requieren mezcladoras especiales:
- Se produce la espuma inyectando aire a presión sobre una mezcla de aditivo con agua, la proporción indicada es 1 litro de aditivo 40 litros de agua.
  - La espuma obtenida se mezcla con el cemento, la arena y el resto de agua. Mediante este procedimiento se obtiene un gran espectro de densidades de hormigones celulares.
- Para hormigones celulares de uso estructural se pueden usar mezcladoras convencionales batando más tiempo para lograr materiales de pareja densidad.

**PROTEX**

# Aditivos para hormigón

## Dosificación tipo

Cemento normal	100 kg.
Arcilla expandida de 3 a 10	200 kg.
Arena gruesa	200 kg.
Agua	54 L
AdiKrete	400 grs

- 1) Colocar agua y AdiKrete en la hormigonera: mientras se bate, agregar arena y luego el cemento.
- 2) Batear aproximadamente durante 4 o 5 minutos.
- 3) Si es necesario corregir la consistencia con agua.

Como el desarrollo de resistencias en el hormigón celular es muy lento, pueda usarse Protex 3 ó Protex 3 SC como acelerante, a razón de 2 kg. por cada 100 kg. de cemento.

Para hacer hormigones livianos empleando una máquina común de obra, se recomienda usar arcilla expandida junto con el AdiKrete.

Es necesario mantener la humedad del material preparado para que se produzca un correcto curado, ya que una rápida desecación bloquea el desarrollo de resistencias mecánicas, lo que produce una fácil disgregación, aumentando la retracción y fisuración.

Dosis: aproximadamente de 0,2% a 0,4% respecto del peso del cemento.

## Almacenar

Vida útil: 2 años en envases de origen bien cerrados y en lugar fresco y seco protegidos de la corrosión.

Proteger de las bajas temperaturas. No exponer a la intemperie o lugares desprotegidos en donde el material pueda sufrir cambios bruscos de temperatura. El ambiente recomendado debe estar comprendido entre los 10 y 30 °C ya que por debajo y por sobre estas temperaturas, el material puede perder alguna de sus propiedades de prestación.

## Advertencias

No utilizar con temperaturas de ambiente inferiores a 10 °C.

El mezclado y tamaño de los áridos son fundamentales para que el aditivo cumpla su función adecuadamente por lo que se recomienda utilizar maquinaria adecuada y hacer un estudio previo de los agregados como así también de la dosis a utilizar.

## Observaciones

Las indicaciones y consejos de esta información técnica se basan únicamente para la orientación, de acuerdo con nuestros estudios, experiencias y pruebas en obra, sin que implique responsabilidad alguna por la empresa sobre todo si el uso del producto no es el indicado. En cada ocasión deberá tenerse en cuenta las condiciones particulares para lograr completo éxito en el uso de los productos recomendados.

**PROTEX**

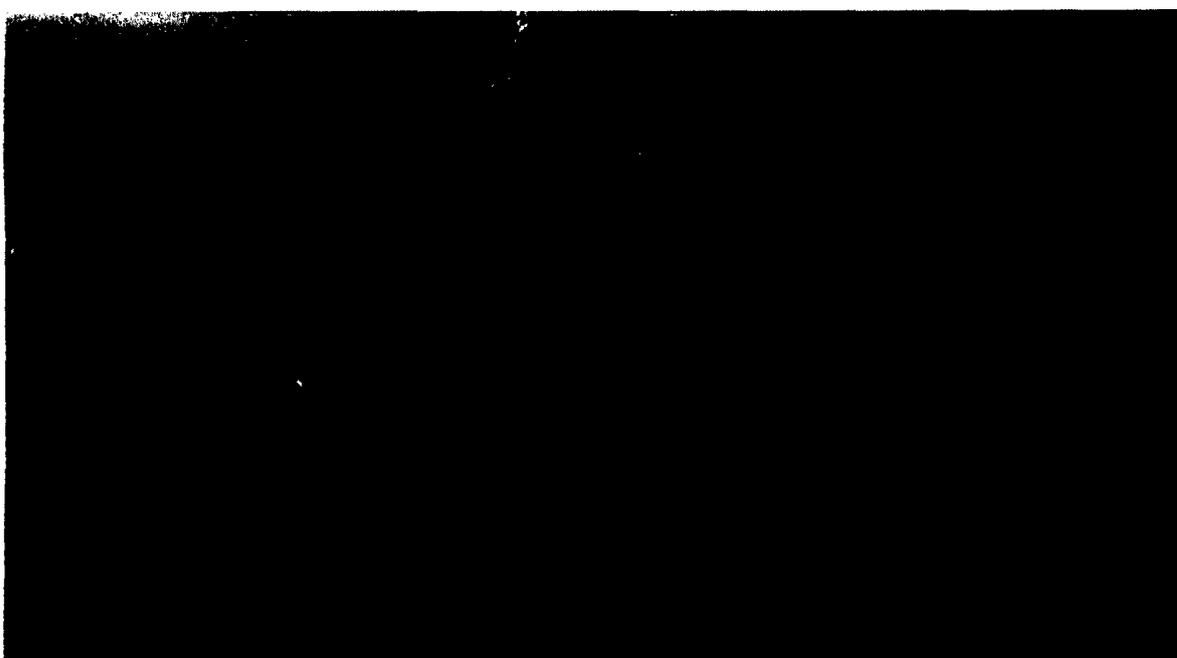
PROTECETE ARGENTINA S.A. - Matheu 2250 (B1605DCA) Muro - Buenos Aires - Argentina  
Tel: (54-11) 4756-7773 Líneas Rotativas - Fax: (54-11) 4762-5305  
Web site: [www.protecsa.com](http://www.protecsa.com)



## 7.16. ANEXO XVI: PANEL FOTOGRAFICO



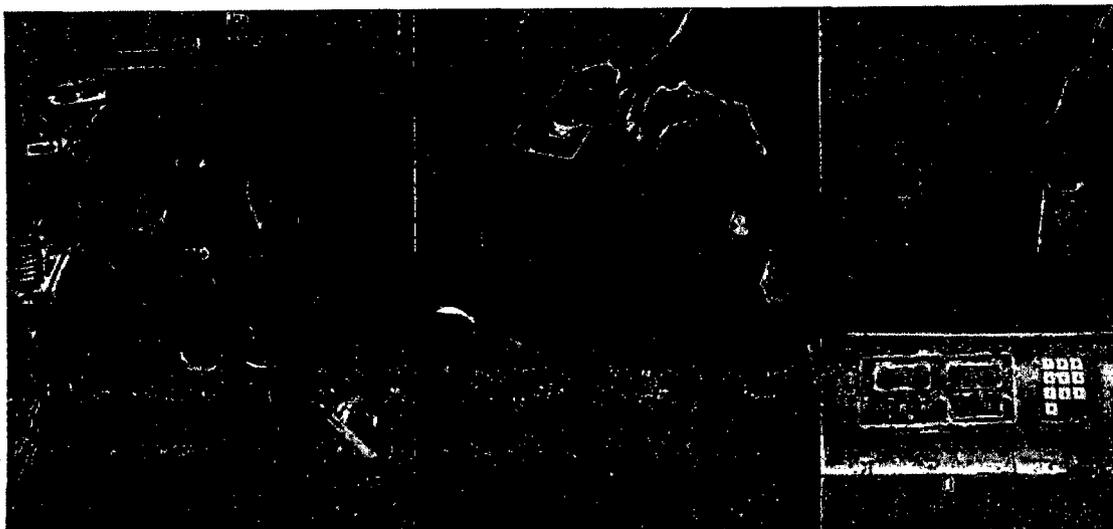
*Imagen N° 51: Selección del agregado fino para ensayos*



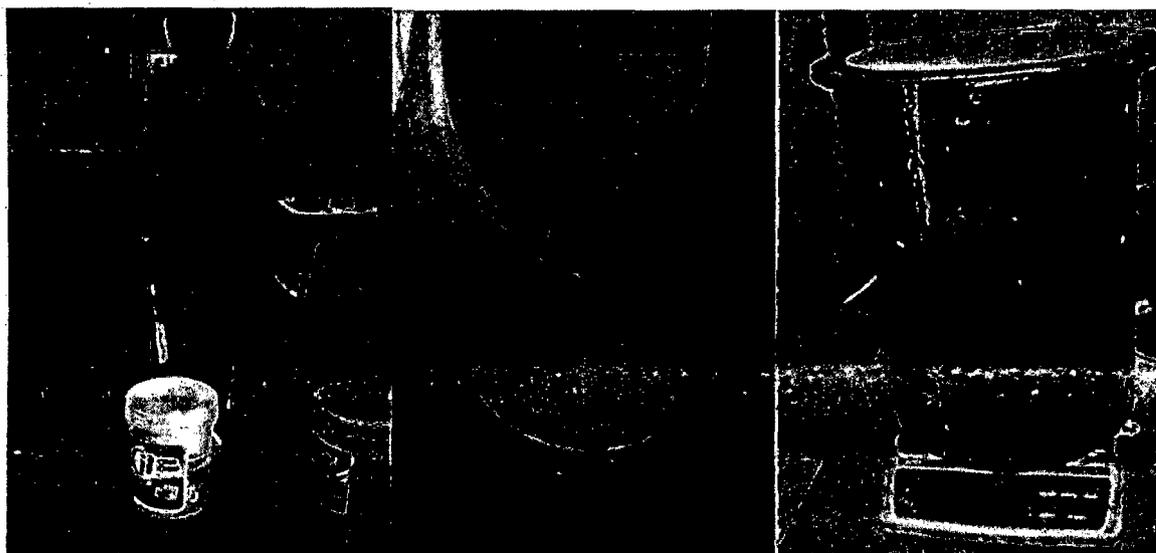
*Imagen N° 52; Ensayo de granulometría del agregado fino*



*Imagen N° 53: Ensayo de densidad relativa del agregado fino*



*Imagen N° 54: Ensayo de peso unitario del agregado fino*



*Imagen N° 55: Ensayo de densidad de la espuma preformada*



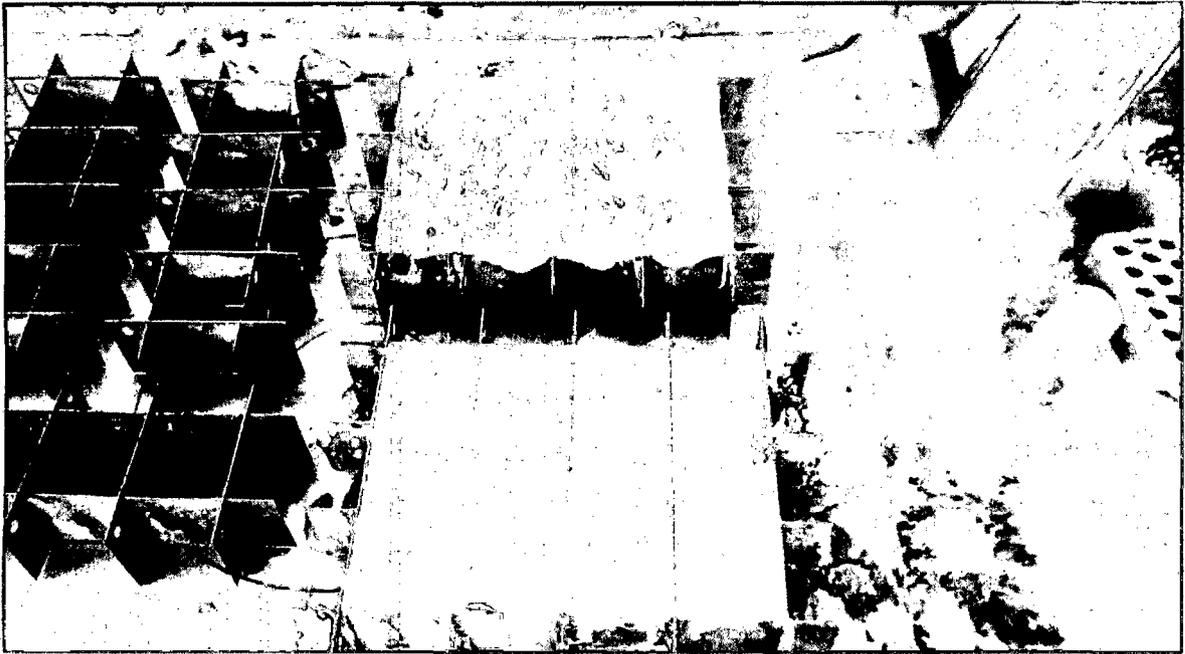
*Imagen N° 56: Adición de la espuma preformada a la mezcladora*



*Imagen Nº 57: Mezclado de los componentes del Concreto Celular*



*Imagen Nº 58: Ensayo de fluidez del Concreto Celular*



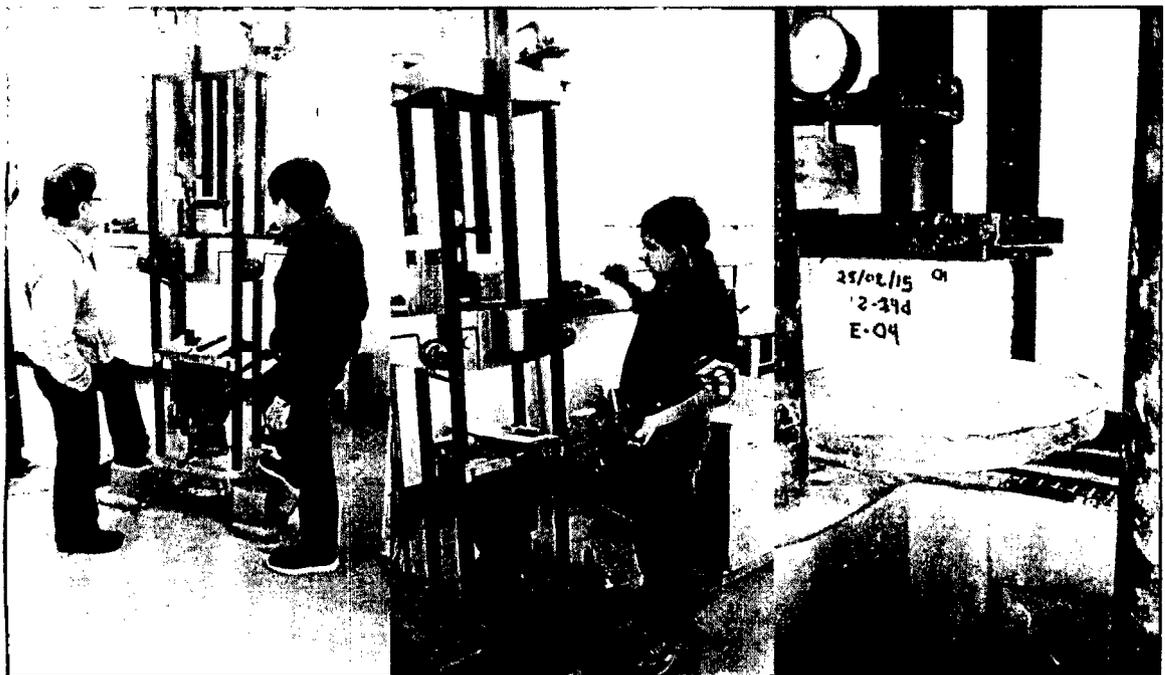
*Imagen N° 59: Vaciado de Concreto Celular en los moldes cúbicos*



*Imagen N° 60: Desencofrado de especímenes cúbicos de Concreto Celular*



*Imagen N° 61: Determinación de las dimensiones de los especímenes cúbicos de Concreto Celular*



*Imagen N° 62: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos de Concreto Celular*



Imagen N° 63: Elaboración de bloques de Concreto Celular

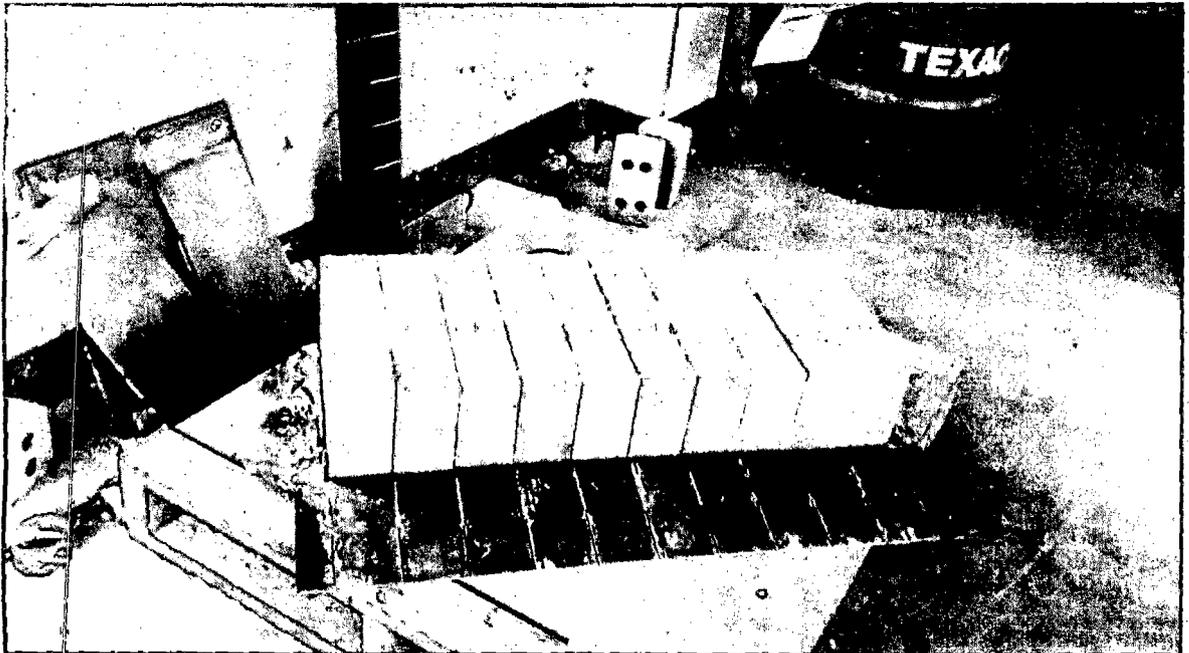
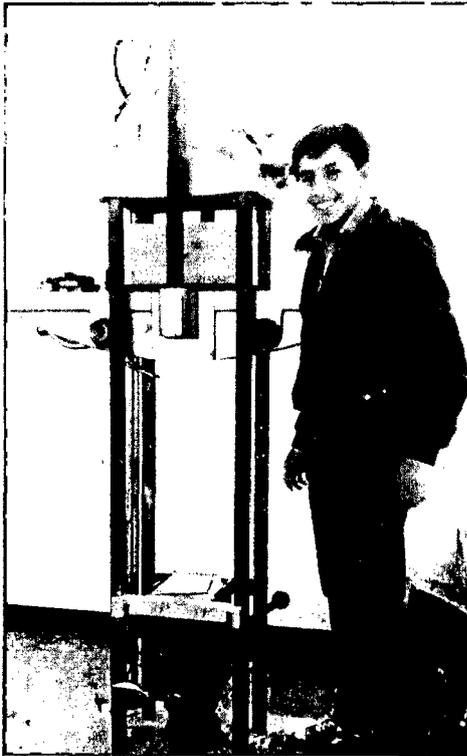


Imagen N° 64: Desencofrado de bloques de Concreto Celular



*Imagen N° 65: Ensayo de compresión simple en bloques de Concreto Celular*



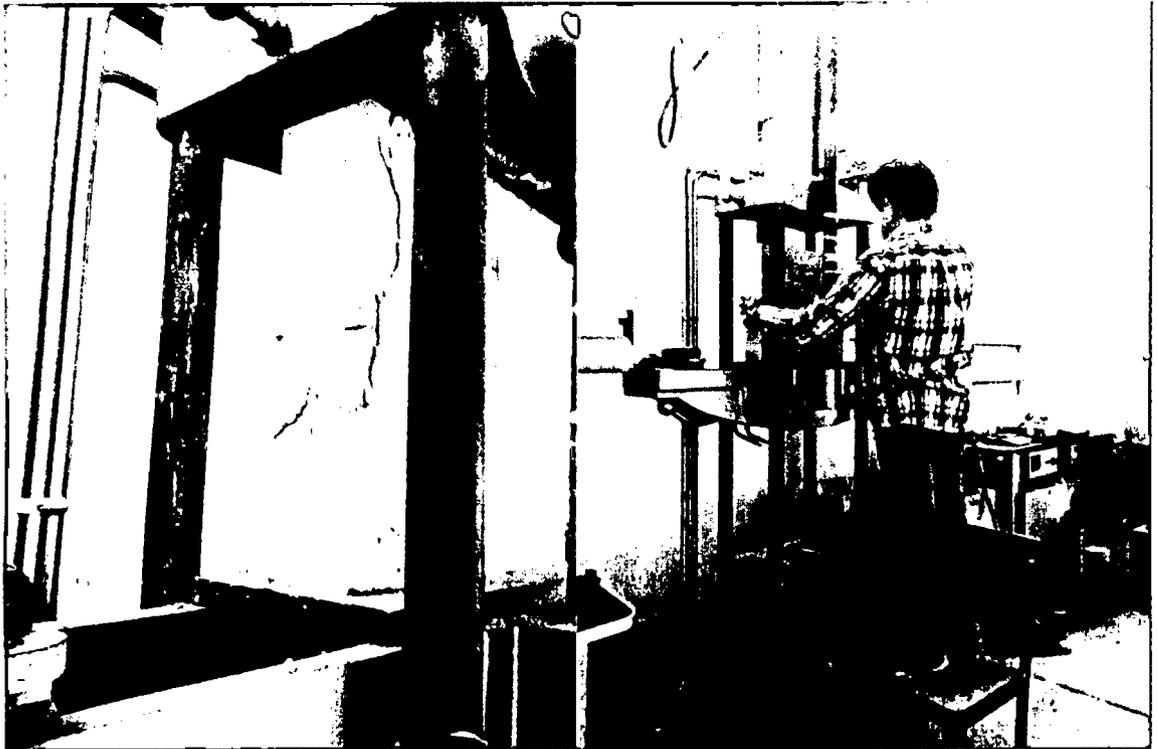
*Imagen N° 66: Ensayo de tracción por flexión en bloques de Concreto Celular*



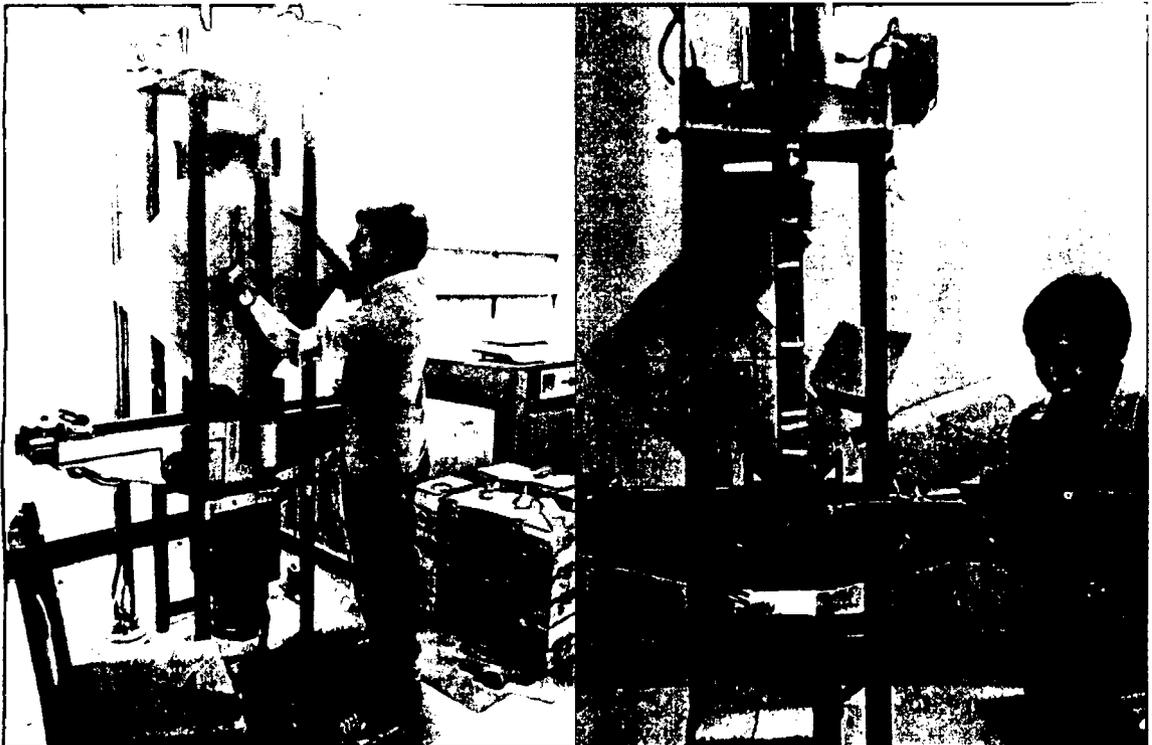
*Imagen N° 67: Elaboración de pilas y muretes de bloques de Concreto Celular*



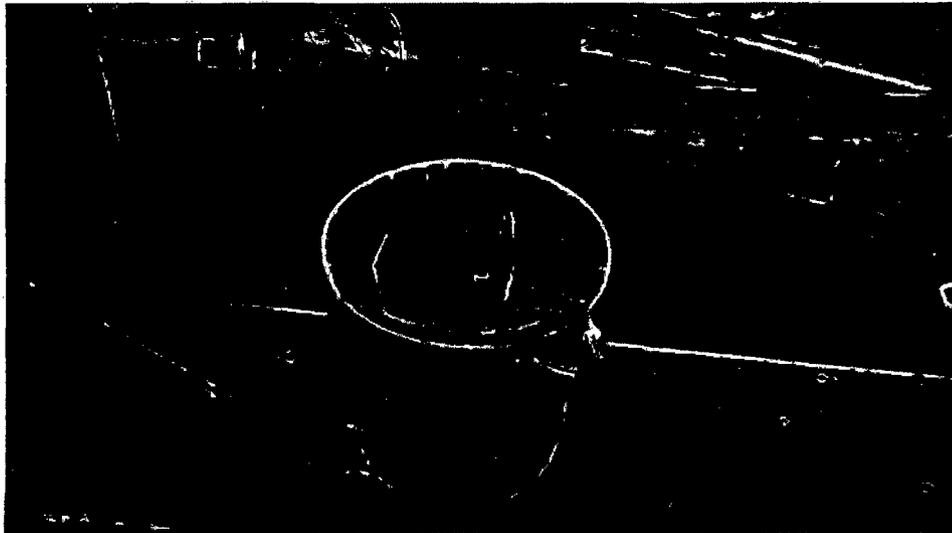
*Imagen N° 68: Pilas y muretes terminados*



*Imagen N° 69: Ensayo de compresión axial en pilas*



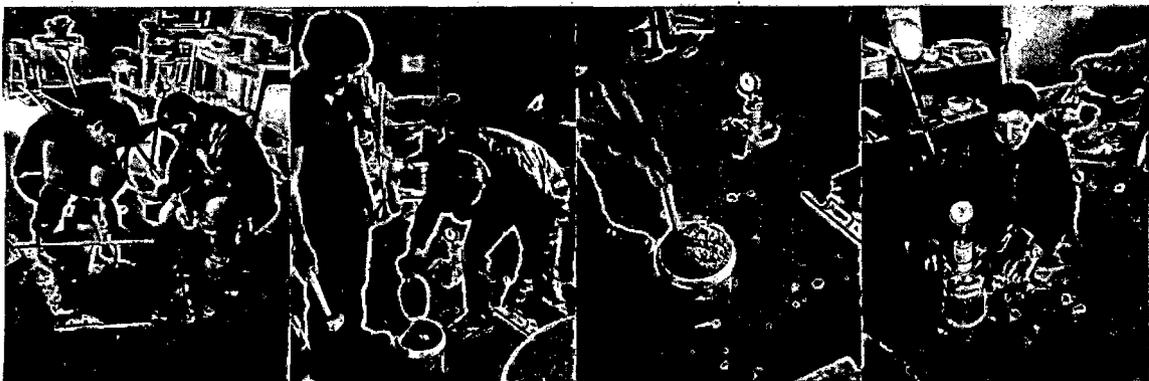
*Imagen N° 70: Ensayo de compresión diagonal en muretes*



*Imagen N° 71: Espécimen cubico de Concreto Celular capaz de flotar en el agua  
Fuente: Fotografía propia*



*Imagen N° 72: Estructura porosa interna de los especímenes cúbicos de Concreto Celular*



*Imagen N° 73: Ensayo de contenido de aire real del mortero*