



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M<sup>3</sup> (D800) EN SANTA ELENA.”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**ALOMOTO LIMONES MICHAEL ÁNGEL**  
**MEJILLONES SUÁREZ KATHERINE VALERIA**

**TUTOR:**

**ING. VÉLIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISOSTOMO Ph. D**

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2022**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M<sup>3</sup> (D800) EN SANTA ELENA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**ALOMOTO LIMONES MICHAEL ÁNGEL**

**MEJILLONES SUÁREZ KATHERINE VALERIA**

**TUTOR:**

**ING. VÉLIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISOSTOMO Ph. D**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2022**

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

**Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.**  
DIRECTOR DE CARRERA



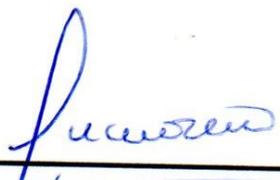
---

**Ing. Alejandro Veliz Aguayo, PhD.**  
DOCENTE TUTOR



---

**Ing. Vianna Pinoargote Rovello, MSc.**  
DOCENTE ESPECIALISTA



---

**Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.**  
DOCENTE UIC

El presente trabajo de investigación me lo dedico a mí, por crearme y ser capaz de continuar en el proceso pese a cualquier circunstancia presentada a lo largo del camino para finalmente lograr concluir con este objetivo propuesto hace varios años.

**Katherine Mejillones Suárez.**

Dedicado el presente trabajo de investigación a mis padres, esposa e hijas. Que son mi iluminación y fortaleza de todos los días.

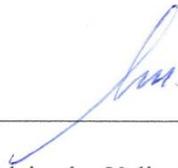
**Michael Alomoto Limones**

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800)EN SANTA ELENA” elaborado por la Srta. MEJILLONES SUAREZ KATHERINE VALERIA y el Sr. ALOMOTO LIMONES MICHAEL ANGEL, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 3% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud.

## FIRMA DEL TUTOR



---

Ing. Alejandro Veliz Aguayo, PhD

C.I.: 0908182280

## Document Information

Analyzed document	TESIS ALOMOTO MEJILLONES URKUND.docx (D158118595)
Submitted	2023-02-08 03:41:00
Submitted by	
Submitter email	kat_baby16@hotmail.com
Similarity	3%
Analysis address	aveliz.upse@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>submission.pdf</b> Document submission.pdf (D75075407)		1
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA / TESIS HORMIGON CELULAR EN BASE A ESPUMANTE Y CERAMICA COCIDA FINAL (REVISION).docx</b> Document TESIS HORMIGON CELULAR EN BASE A ESPUMANTE Y CERAMICA COCIDA FINAL (REVISION).docx (D125766619) Submitted by: rogelio_gomez_2011@hotmail.com Receiver: rramirez.upse@analysis.orkund.com		6
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/161551961-Universidad-central-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-ciencias...">https://docplayer.es/161551961-Universidad-central-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-ciencias...</a> Fetched: 2021-07-08 13:55:04		1
<b>SA</b>	<b>TESIS-YESENIA-MAIRONGO.docx</b> Document TESIS-YESENIA-MAIRONGO.docx (D31449894)		2
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2381/IClaarJ.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2381/IClaarJ.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 2021-11-25 16:40:18		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/amp/61918054-Escuela-politecnica-nacional.html">https://docplayer.es/amp/61918054-Escuela-politecnica-nacional.html</a> Fetched: 2021-09-14 20:24:07		2

## Entire Document

Uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción es, sin lugar a duda, el cemento. El cemento es el material más consumido en el mundo, 14000 millones de metros cúbicos de hormigón son usados cada año, según la Asociación Mundial del Cemento y el Hormigón (GCCA).

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, MEJILLONES SUAREZ KATHERINE VALERIA y ALOMOTO LIMONES MICHAEL ANGEL, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

---

**Mejillones Suarez Katherine Valeria**

**Autor de Tesis**

**C.I. 2450099680**

---

**Alomoto Limones Michael Ángel**

**Autor de Tesis**

**C.I. 0912473501**

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

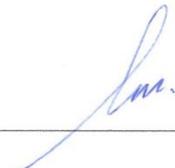
Ing. Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo PhD.

## TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Srta. Mejillones Suarez Katherine Valeria y el Sr. Alomoto Limones Michael Ángel, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

## FIRMA DEL TUTOR



---

Ing. Alejandro Veliz Aguayo, PhD.

# CERTIFICADO DEL GRAMATOLOGO

*Certificación de Gramatólogo*

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

*Magíster En Diseño Y Evaluación*

*De Modelos Educativos*

La Libertad, febrero 2 del 2023.

## Certifica:

Que después de revisar el contenido del **TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR** en opción al título de **INGENIERO CIVIL** de: **ALOMOTO LIMONES MICHAEL ANGEL & MEJILLONES SUAREZ KATHERINE VALERIA**, cuyo tema es: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA”**, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.

Lic. Alexi Herrera R, MSc.

Docente de Español A: Literatura

Cel: 0962989420

e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

# **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por brindarnos salud, determinación y paciencia para culminar la carrera universitaria con éxito.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por abrirnos las puertas y poder realizar nuestros estudios en sus instalaciones.

A los Ingenieros Alejandro Veliz y Richard Ramírez por estar puestos a prestar sus conocimientos y despejarnos cualquier duda en el trayecto de este proyecto de titulación.

A la empresa SIKA por permitirnos trabajar y hacer ensayos en sus instalaciones.

**Katherine Mejillones y Michael Alomoto**

En esta etapa de mi vida en la obtención del título de Ing. Civil, en primer lugar, doy gracias a Dios por la sabiduría, a mi esposa e hijas que me han dado la fuerza de superación, a mis profesores de la UPSE especialmente a los Ingenieros Alejandro Véliz y Richard Ramírez que forman a futuros profesionales, a mi compañera de tesis que hemos sabido encontrar solución a este proyecto, a SIKA por creer en estos futuros profesionales.

A seguir fijando nuevas metas para crecer como seres humanos y aportar a nuestra comunidad.

**Michael Alomoto Limones**

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, fuerza, paciencia y sabiduría para continuar con este proceso.

A mi mamá Maritza Suárez, quien siempre sin importar la situación ha estado apoyándome y motivándome todos los días de mi vida sin dejar de creer en mí y en lo que soy capaz de lograr.

A mi papá Otto Mejillones por el apoyo económico durante varios años de la carrera también por ser ejemplo de dedicación y esfuerzo.

A mis hermanos, principalmente a Mayerli y Ginger quienes han sido mi apoyo emocional en estos últimos años, por estar conmigo alentándome a continuar para terminar la carrera.

A la persona que me brindo su apoyo hasta donde le fue posible.

Con cariño...

**Katherine Mejillones Suárez**

# CONTENIDO

## Contenido

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	viii
CERTIFICADO DEL GRAMATOLOGO.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
CONTENIDO.....	xiii
LISTA DE FIGURAS .....	xviii
LISTA DE TABLAS .....	xix
RESUMEN .....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	23
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	24
1.2 ANTEDECENTES .....	26
1.3 HIPÓTESIS .....	29
1.3.1 Hipótesis General .....	29
1.3.2 Hipótesis Especifica .....	29
1.4 OBJETIVOS.....	29
1.4.1 Objetivo General .....	29
1.4.2 Objetivos Específicos .....	30

1.5 ALCANCE .....	30
1.6 VARIABLES.....	31
1.6.1 Variables Dependientes:.....	31
1.6.2 Variables Independientes.....	31
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	32
2.1. Definición del hormigón.....	32
2.2 Hormigón liviano.....	32
2.3 Tipos de hormigones livianos.....	32
2.4 Hormigón celular.....	33
2.5 Métodos para la elaboración del hormigón celular .....	34
2.6 Ventajas del hormigón celular.....	35
2.7 Desventajas del hormigón celular.....	36
2.8 Aplicaciones y Restricciones de uso del hormigón celular .....	37
2.9 Características de los materiales.....	39
2.9.1 Cemento Portland .....	39
2.9.2 Árido.....	40
2.9.3 Agua .....	40
2.9.4 Espumante .....	40
2.9.5 Equipo para fabricación de espuma.....	41
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	43
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.1.1 Tipo.....	43
3.1.2 Nivel .....	43

3.2 METODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	43
3.2.1 Método.....	43
3.2.2 Enfoque.....	43
3.2.3 Diseño.....	43
3.3 Metodología del OE1: Obtener un diseño de Hormigón Celular D800 mediante pruebas experimentales para estudiar el comportamiento mecánico con cada uno de los 3 agentes espumantes. ....	44
3.4 Metodología del OE2 Analizar el costo con cada uno de los agentes espumantes. ....	44
3.5 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUETREO.....	45
3.5.1 Población.....	45
3.5.2 Muestra.....	45
3.5.3 Muestreo .....	45
3.6 OPERACIÓN DE VARIABLES. ....	46
3.7 OBTENCION DEL ÁRIDO FINO. ....	47
3.7.1 Arena Negra .....	47
3.8 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	47
3.9 MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) NORMA NTE INEN 858 (ASTM C-29).....	49
3.10 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTE INEN 862 (ASTM C-566).....	51
3.11 DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO SEGÚN NORMA NTE INEN 856 (ASTM C-128).....	51
3.12 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO.....	53
3.13 AGUA.....	54

3.14 AGENTE ESPUMANTE .....	55
3.15 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR D800.....	61
3.16 ELABORACION DE LAS PROBETAS .....	63
3.17 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DEL HORMIGON. .....	64
3.17.1 <i>Calculo de asentamiento (Cono de Abraham)</i> .....	64
3.17.2 <i>Resistencia a la compresión</i> .....	65
3.17.3 <i>Modulo elástico teórico.</i> .....	67
3.17.4 Mesa de flujo (norma INEN 2500).....	69
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	71
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, Obtener un diseño de Hormigón Celular D800 mediante pruebas experimentales para estudiar el comportamiento mecánico con cada uno de los 3 agentes espumantes.....	71
4.1.1 Resultados de la granulometría del agregado fino.....	71
4.1.2 Resultado de la masa unitaria o peso volumétrico. ....	73
4.1.3 Resultados del contenido de humedad.....	73
4.1.4 Resultados de densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino .....	73
4.1.5 Resultados del ensayo de asentamiento.....	74
4.1.6 Resultados del ensayo Mesa de flujo.....	74
4.1.7 Resultados de las dosificaciones de mezcla para D800 con los 3 espumantes. .....	75
4.1.7 Resultados de la resistencia a compresión.....	78
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, Analizar los costos con cada uno de los agentes espumantes. ....	79

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	81
5.1 CONCLUSIONES.....	81
5.2 RECOMENDACIONES .....	82
ANEXOS .....	88

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Clasificaciones de las moléculas surfactantes.....	26
<b>Figura 2</b> Elementos ue componen la elaboración de espuma.....	27
<b>Figura 3</b> Maquina generadora de espuma usada para la elaboración del hormigón celular. .....	42
<b>Figura 4</b> Proceso de ensayo granulométrico del agregado fino.....	48
<b>Figura 5</b> Elaboración del ensayo de masa unitaria o peso volumétrico. ....	50
<b>Figura 6</b> Cemento usado. a) presentación b) muestra c) vista microscópica. ....	54
<b>Figura 7</b> Empresa proveedora de agua de la provincia de Santa Elena.....	54
<b>Figura 8</b> Espumante #1 .....	56
<b>Figura 9</b> Espumante #1 vista a nivel microscópica. ....	57
<b>Figura 10</b> Espuma #2.....	58
<b>Figura 11</b> Espuma #2 Vista microscópica. ....	59
<b>Figura 12</b> Espumante #3.....	60
<b>Figura 13</b> Espuma #3 vista microscópica. ....	61
<b>Figura 14</b> Tipos de rotura .....	66
<b>Figura 15</b> Relación Modulo Elástico con contenido de aire.....	67
<b>Figura 16</b> Curva Granulométrica del agregado fino.....	72
<b>Figura 17</b> Resistencia a la compresión Espuma#1 .....	76
<b>Figura 18</b> Resistencia a la compresión espuma#2.....	77
<b>Figura 19</b> Probetas D800 Espumante#3(Pruebas Fallidas) .....	78
<b>Figura 20</b> Comparación del ensayo a compresión con los espumantes 1 y 2. ....	78
<b>Figura 22</b> Porcentaje de espumas para una densidad 60 gr/l.....	80

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clases de concreto ligero .....	33
<b>Tabla 2</b> Clasificación del Cemento Portland. ....	39
<b>Tabla 3</b> Especificaciones técnicas del agregado fino según Norma ASTM C3/C33M, C144, C33/C330M o C332.....	47
<b>Tabla 4</b> Datos técnicos del agente espumante #1 .....	55
<b>Tabla 5</b> Ingredientes que componen el agente espumante #1.....	56
<b>Tabla 6</b> Datos técnicos del agente espumante #2 .....	57
<b>Tabla 7</b> Ingredientes que componen el agente espumante #2.....	58
<b>Tabla 8</b> Datos técnicos del agente espumante #3 .....	59
<b>Tabla 9</b> Ingredientes que componen el agente espumante #3.....	60
<b>Tabla 10</b> Calculo estimado para dosificación de hormigón celular.....	62
<b>Tabla 11</b> Diseño para hormigón celular D800.....	62
<b>Tabla 12</b> Dosificaciones para D800 sugerida por folleto. ....	63
<b>Tabla 13</b> Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.....	66
<b>Tabla 14</b> Ecuaciones de predicción del módulo de elasticidad para el mortero celular.....	68
<b>Tabla 15</b> Características del agregado fino usado en la mezcla de hormigón celular. ...	72
<b>Tabla 16</b> Resultado de masa unitaria obtenida del agregado fino .....	73
<b>Tabla 17</b> Contenido humedad.....	73
<b>Tabla 18</b> Densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino.....	74
<b>Tabla 19</b> Datos de asentamiento de la mezcla D800 con espumas 1 y 2.....	74
<b>Tabla 20</b> Porcentaje de Fluidez obtenido del ensayo mesa de flujo. ....	74
<b>Tabla 21</b> Mezcla de Diseño HC D800 con espumante#1 .....	75

<b>Tabla 22</b> Mezcla de Diseño HC D800 con espumante#2 .....	77
<b>Tabla 23</b> Análisis de precio unitario para 1m3 de HC D800 con los 3 espumantes .....	79
<b>Tabla 24</b> Dosificación de espumante, agua/espumante .....	79

“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M<sup>3</sup> (D800) EN SANTA ELENA”

**Autores:** Mejillones Suárez Katherine Valeria

Alomoto Limones Michael Ángel

**Tutor:** Ing. Alejandro Véliz Aguayo.

## **RESUMEN**

El propósito de la investigación fue obtener mediante resultados experimentales un hormigón celular con densidad ( $D 800 \text{ kg/m}^3$ ) usando 3 tipos de espumantes, para posteriormente analizar su comportamiento, sugiriendo posibles usos y ofreciendo una guía para su elaboración. Entre las ventajas principales del hormigón celular esta su baja densidad lo cual nos permite la disminución de carga muerta haciendo posible obtener elementos no estructurales.

Al no haber una normativa estandarizada en el Ecuador, para la elaboración del hormigón celular se utilizó una relación 1:1 (1 porción de cemento: 1 porción de agregado fino). Se tomó como referencia las normas INEN, ACI y ASTM, especialmente para las características físicas del cemento y agregado fino ya que esta dosificación no contiene agregado grueso.

Una vez analizado el proceso de elaboración del hormigón celular, a través de cilindros se observó que los valores experimentales fueron diferentes a los valores obtenidos en una dosificación teórica, por lo que se presenta una curva de ajuste respecto al aditivo espumante.

**Palabras clave:** hormigón celular, agentes espumantes, densidad, comportamiento.

“COMPARATIVE STUDY OF 3 TYPES OF FOAMING AGENTS FOR THE MANUFACTURE OF A CELULAR CONCRETE DENSITY OF 800KG/M3 (D800) IN SANTA ELENA”

**Autores:** Mejillones Suárez Katherine Valeria

Alomoto Limones Michael Ángel

**Tutor:** Ing. Alejandro Véliz Aguayo.

## **ABSTRACT**

The purpose of the research was to obtain, through experimental results, a cellular concrete with a density ( $d$  800 kg/m<sup>3</sup>) using 3 types of foaming agents to subsequently analyze its behavior, suggesting possible uses, offering a guide for its preparation. Among the main advantages of cellular concrete is its low density, which allows us to reduce the dead load, making it possible to obtain lighter structures.

As there is no standardized regulation in Ecuador, a 1:1 ratio (1 portion of cement: 1 portion of fine aggregate) was used for the preparation of cellular concrete. The INEN and ASTM standards were taken as a reference, especially for the physical characteristics of cement and fine aggregate, since this dosage does not contain coarse aggregate.

Once the cellular concrete production process was analyzed, through cylinders, it was observed that the experimental values were different from the values obtained in a theoretical dosage, for which an adjustment curve is presented with respect to the foaming additive.

**KEYWORDS:** aerated concrete, foaming agents, density, behaviour

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción es, sin lugar a duda, el cemento. El cemento es el material más consumido en el mundo, 14000 millones de metros cúbicos de hormigón son usados cada año, según la Asociación Mundial del Cemento y el Hormigón (GCCA).

El cemento se define como un polvo finamente molido, compuesto por silicatos de calcio y, en menores proporciones por aluminatos de calcio que, al ser mezclado con agua, produce una pasta que fragua y endurece. Como producto resultante se originó el concreto, siendo éste la mezcla básica de dos componentes, agregados y pasta. La pasta se compone de cemento y agua que une a los agregados, ya sea grueso (grava) o fino (arena), produciendo una reacción química que permite el endurecimiento de los materiales formando una masa con características similares a las de una roca.

El concreto es el resultado de la innovación de materiales usados en los sistemas constructivos, este alcanza una densidad promedio de los 2350 kg/m<sup>3</sup>. Una forma de aligerar el concreto es sustituyendo el agregado grueso por aire. La inclusión de aire produce burbujas dentro del concreto ocupando espacio en la mezcla y al fraguar, las células de aire serán las que permitan una mayor ligereza del material. A este tipo de concreto ligero se le denomina ‘Concreto Celular’. Elizondo Fócil (2006)

El concreto celular se produce por primera vez en Suecia en 1929 mediante una bomba generadora de espuma. Antes de la Primera Guerra Mundial, en Inglaterra, ya se empleaba el concreto a base de espuma en la fabricación de bloques para muros no cargadores y posteriormente, debido a su buena aceptación, se produjeron unidades reforzadas. Elizondo Fócil (2006)

Caso similar ocurrió en Alemania. A raíz de la Segunda Guerra Mundial los agregados ligeros, como la piedra pómez, se agotaron por lo que las industrias de bloques y precolados sufrieron una crisis debido al abastecimiento del material de cantera, es por ello que fueron optando por materiales ligeros alternativos tales como los agregados a base de espuma. Hoy en día se encuentran en desarrollo técnicas de producción de agregado ligero ya probadas en Inglaterra. (Elizondo Fócil, 2006)

Fue en los Estados Unidos de América donde el desarrollo del agregado ligero se dio más rápido que en cualquiera de los países antes mencionados. El extenso territorio del país origina altos costos de transporte para mover materiales pesados a grandes distancias para llegar al sitio de la obra. A pesar de no existir escasez de agregados en el territorio, estos se encuentran a grandes distancias de los centros de prefabricados por lo que resulta más económico el uso de agregados a base de agentes espumantes producidos en el mismo sitio de la obra. Este factor ha causado que el concreto celular se haya desarrollado más rápidamente. (Elizondo Fócil, 2006)

Cabe mencionar que existen dos procesos para la fabricación del concreto celular: el método químico y el método espumoso. El método químico consiste en añadir aditivos químicos (polvo de Aluminio) que al reaccionar con la mezcla de concreto produce un gas (hidrógeno) lo cual permite ocupar cierto volumen de aire; el segundo método consiste en producir espuma la cual se puede añadir a la mezcla de dos formas, de manera interna o externa. Las espumas tienen como objetivo atrapar el aire del ambiente y homogeneizarlo en la mezcla. Sin embargo, el concreto celular elaborado con gas tiene la desventaja de ser estrictamente producido en planta debido a que requiere de un curado en autoclave para obtener su resistencia y durabilidad, por ello su alto costo; el concreto celular con espuma producida internamente tiene la desventaja de ser muy volátil en cuanto a la resistencia se refiere, por lo que es necesario un estricto control de la cantidad de aditivo añadido o la velocidad de mezclado. Mientras que el concreto con espuma preformada permite ser producido en obra y permite mayor manejabilidad durante su uso. (Organista Valdiosera, 1999)

Con el fin de conocer mejor las propiedades y características del concreto celular producido con espuma preformada con los 3 agentes espumantes se realizará en esta investigación pruebas de laboratorio que permitirán caracterizar el material para su correcto uso en la construcción.

## **1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El concreto es en la actualidad el material más usado en la industria de la construcción a nivel mundial, sin embargo, la alta densidad o peso volumétrico de los concretos convencionales, «alrededor de 2350 kg/m<sup>3</sup>» ha sido un inconveniente donde la carga muerta es un factor importante. Es muy pesado para

ser práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso, bloques, mampostería y azoteas, ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), dichas cargas se transmiten a las vigas, estas a las columnas y finalmente a la cimentación y al terreno. (CONTRERAS, 2016)

Lo anterior nos lleva a tener construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas. Todo esto debido al excesivo peso muerto, lo cual se traduce en un elevado costo de la obra.

El sector de la construcción es un elemento dinamizador de la economía, es así que, en el año 2020 este sector representó el 7,9% del Producto Interno Bruto, (PIB) ecuatoriano (Banco Central Ecuador, 2021). El hormigón armado fue el principal material para las edificaciones a construir, previsto para cimientos, estructura y cubierta en un 93,9%, 88,0% y 55,6%, respectivamente. El principal material de las paredes fue el bloque, registrado para el 64,9% de las potenciales edificaciones. (INEC, 2020).

Para corregir estas insuficientes cualidades del concreto, se han realizado a través de los años múltiples investigaciones con sorprendentes resultados como los concretos celulares o aireados, con los que se logran densidades que fluctúan entre los 200 y 1920 Kg/m<sup>3</sup>. (Pizarro Retamal, 2020)

Los elementos que constituyen el hormigón celular son: cemento, agregado fino, agua, agente espumante y eventualmente fibras y aditivos. Las formulaciones de concentrados de espuma más usados según en la ACI 523.33R-14 son las que contienen hidroxilatos de proteínas o tensioactivos sintéticos.

Sin embargo, estas Nuevas Tecnologías en los Concretos no han perneado como deberían en el ámbito profesional de la Industria de la Construcción en Ecuador. En el país, no tenemos una cultura de nuevos materiales. De ahí que este estudio tiene como objetivo, difundir estos hallazgos, se busca disertar de manera breve pero concisa acerca de cómo se usan típicamente los concretos celulares y cuál es su proposición en cuanto a valor agregado.

En principio todos los productos espumógenos pueden ser utilizados para la fabricación del hormigón celular, con la presencia del agua, la generación de la espuma y el proceso de mezclado con los materiales hace que decrezca la tensión superficial y se rompan las burbujas. Los agentes espumantes deberán mantener la estabilidad de las burbujas sin que esta se rompa durante la generación de

espuma, durante el proceso de mezclado, durante el vertido del material en el molde y hasta que este haya endurecido. (Cordova Flores & Flores Roque, 2021) El presente trabajo de investigación busca tener otras alternativas de agentes espumantes haciendo un estudio de análisis comparativo entre 3 espumantes con diferentes características químicas, como materiales para la fabricación de hormigón celular con una densidad de  $800 \text{ kg/m}^3$ . Que usualmente se usa para bloques, rellenos, molduras, coberturas ambientales, prevención de derrumbes, cubiertas, impermeabilización, reacondicionamientos de sistemas de alcantarillados, mampostería y otros elementos no portantes. (Trinidad Vasquez, 2020)

Con el objetivo de reducir la densidad del hormigón se empleará 3 agentes espumantes diferentes, cemento Holcim Tipo 1 y un mismo árido fino (arena), los materiales a emplearse en el diseño de los hormigones están disponibles en la Provincia de Santa Elena.

## 1.2 ANTEDECENTES

En el ámbito internacional se puede mencionar a (Pozo Gavara, 2021) con su tesis de masterado titulada “Formación de geles moleculares a partir de surfactantes aniónicos derivados de aminoácidos” la cual define a las moléculas surfactantes como un tipo de moléculas anfifílicas compuestas por una cabeza polar o hidrofílica y una o dos colas apolares o hidrofóbicas que tienen una tendencia espontánea a auto ensamblarse en estructuras discretas a escala nanométrica. La fracción hidrofóbica suele ser una cadena alquílica de 5-18 átomos de carbono con baja polarizabilidad. La cabeza hidrofílica, por su parte, puede ser no iónica, iónica o anfótera.

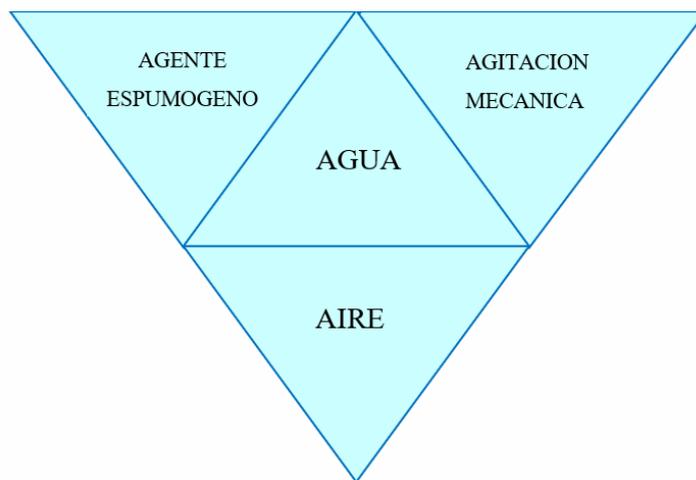
**Figura 1**  
*Clasificaciones de las moléculas surfactantes.*



*Nota: Obtenido de (Pozo Víctor, 2021)*

Como plantea en el artículo científico de Guerrero Velázquez (2018) en “Introducción a la Espuma Contra -incendios”, la espuma consiste en una capa o masa de burbujas llenas de gas, en este caso aire que son producidas por soluciones acuosas de agentes espumantes. Así mismo se necesitan 4 elementos indispensables para su elaboración.

**Figura 2**  
*Elementos ue componen la elaboración de espuma.*



*Nota: Obtenido de (Guerrero José, 2018)*

Cuando los agentes espumantes son incorporados en el agua de la mezcla, este va a producir cavidades de burbujas discretas que se incorporan en la pasta de cemento. Las propiedades del hormigón espumado dependen principalmente de la calidad de la espuma y la dosis de la misma.(Yáñez López & Medina Piza, 2014)

Existen dos tipos de agente espumante:

1. Sintético: El cual es adecuado para densidades de 1.000 kg/m<sup>3</sup> superiores o iguales.
2. Proteína: Adecuada para densidades de 400 kg/m<sup>3</sup> a 1.600 kg/m<sup>3</sup>.

Las espumas de base de proteínas-tienen un peso equivalente alrededor de 80 g/lit. Estos agentes espumantes provienen de las proteínas animales de cuerno, la sangre, los huesos de las vacas, los cerdos y otros restos de los cadáveres de animales. Esto conduce no sólo a considerables variaciones en la calidad, debido a las diferentes materias primas empleadas, sino que también a un muy intenso hedor de esos agentes espumantes. (Yáñez López & Medina Piza, 2014)

Ambos tipos de agentes reducen la tensión superficial de la solución, que facilita la formación de burbujas de aire estables. Los agentes espumantes sintéticos son una sustancia que son anfiprótica, defínase esta como las sustancias que poseen la capacidad de dar o recibir un protón, y además es fuertemente hidrófilo refiriéndose a este como el comportamiento de toda molécula que posee afinidad por el agua, por lo que fácilmente se disuelven en agua produciendo burbujas de aire. Sin embargo, cuando se realice la inclusión del agente sintéticos en el mortero, que es un ambiente químico complejo, la compatibilidad de tensoactivo y partículas de cemento es fundamental para arrastrar eficazmente el contenido de aire deseado y la microestructura de mortero.(Yáñez López & Medina Piza, 2014)

Sin embargo, a pesar de que los dos tipos de espumas proporcionan a la mezcla las características apropiadas, se ha encontrado en los orígenes microscópicos que la estabilidad de esta es muy diferente.

Para la espuma sintética, la interacción de repulsión entre las capas adsorbidas ofrece una película fina y una espuma estable, mientras que, para la espuma de proteína el mecanismo para la estabilización está relacionada con el confinamiento de los agregados dentro de las películas delgadas, atrapado allí cuando las burbujas entran en contacto.(Yáñez López & Medina Piza, 2014)

Hasta ahora, solo se ha hablado de las características del mortero celular y sus materiales. Si bien ya se mencionó anteriormente, el mortero celular es un mal llamado concreto celular, debido a su composición, este se conforma de agua, cemento, agregado fino y aire. Diferentes estudios realizados a lo largo de su historia han dado a conocer que se puede obtener un mortero celular variando la cantidad de aire en la mezcla. (Yáñez López & Medina Piza, 2014)

En el ámbito nacional, (CONTRERAS, 2016). señala que La formación de los alvéolos dentro de la masa de hormigón resulta de incorporar a la mezcla un agente espumante que por agitación genera espuma con burbujas de aire, que al endurecer la mezcla quedan atrapadas las burbujas formando micro células que no están comunicadas entre sí. En la elaboración de los hormigones celulares el mezclado tiene una importancia fundamental sobre la calidad del producto. La duración del mezclado influye directamente sobre la resistencia y la densidad del hormigón, cuanto mayor es el tiempo de mezclado menor es la densidad.

En el país, rige la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC – 15), la que establece dos tipos de morteros para finalidad de una mampostería estructural: el mortero de pega el cual debe cumplir con parámetros físicos de plasticidad, consistencia, retención de agua, entre otros, proyectados a cumplir el parámetro mecánico de resistencia. Otro tipo de mortero mencionado es el de relleno, éste debe cumplir así mismo con parámetros físicos y mecánicos imprescindibles para tener la función de conglomerante y ser vertidos en los espacios vacíos entre bloques y armado de acero de refuerzo que conforman la mampostería.

En el ámbito local, en la tesis de (Cevallos Macias & Gonzabay Asencio, 2020), con el tema “Diseño de un sistema estructural para losas de piso empleando losetas de mortero celular” señalan que el mortero en general es la mezcla de un material conglomerante inorgánico, arena y agua; y puede o no tener una función estructural. Las normas ASTM clasifican a los morteros para uso en mampostería por sus propiedades físicas y mecánicas tales como resistencia a la compresión, retención de agua y contenido de aire. También los clasifica por sus proporciones respecto a dosificación acorde a su masa o volumen, según lo cual para mismas dosificaciones puede variar la resistencia ya que esta va a depender exclusivamente de la granulometría de la arena.

## **1.3 HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis General**

El análisis comparativo de 3 agentes espumantes, mediante ensayos de laboratorio, permitirá seleccionar al mejor agente para la fabricación del hormigón celular D800.

### **1.3.2 Hipótesis Especifica**

**H.E1.:** Todo espumante sirve para la fabricación de hormigón celular D800.

**H.E2.:** El precio de los hormigones celulares con cada uno de los agentes espumantes para analizar su posible uso en obras civiles.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Realizar un análisis comparativo de 3 tipos espumantes mediante la fabricación de un hormigón celular de densidad 800 Kg/m<sup>3</sup> (D800) para determinar la mejor opción de agente espumante.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

**O.E1.:** Obtener un diseño de Hormigón Celular D800 mediante pruebas experimentales para estudiar el comportamiento mecánico de la mezcla usando tres distintos agentes espumantes.

**O.E2.:** Analizar los costos de los diseños de hormigones celulares con cada uno de los agentes espumantes.

#### **1.5 ALCANCE**

Al finalizar este proyecto de investigación se aportará directamente al desarrollo del sector de la construcción en la provincia, además impulsará la inversión privada ya que contribuirá con nuevos métodos de construcción, innovando en este medio. Se dará a conocer las características y beneficios de los espumantes, se estudiarán las tres alternativas en la mezcla de hormigón celular, con diferentes contenidos de agente espumante para determinar el comportamiento de la propiedad mecánica más relevante del hormigón en lo que se refiere a la resistencia a la compresión a la edad de 28 días y evaluar su peso en función de su densidad. Se buscará definir al espumante de manera general y luego se describirá a cada uno para seleccionar cual es el más óptimo para la fabricación del hormigón. Por último, se describirá el tema principal de la tesis, luego, se hará análisis de información referido a los materiales que se utilizarán para la elaboración de las mezclas de concreto celular (cemento, arena, espumante), abordando las características importantes para la realización de los ensayos de manera cuantitativa, también se realizará los ensayos de laboratorio a las mezclas que serán diseñadas. Estos ensayos serán realizados al concreto en estado fresco y en estado endurecido, para posteriormente iniciar el proceso de aplicación de la mejora con la realización de los distintos diseños de mezcla que se crean convenientes y tengan los mejores prospectos para dar buenos resultados. Esto se realizará siguiendo el método gravimétrico a partir de una mezcla patrón, la cual variará para medir los cambios que se generan en el concreto celular a base de aditivo espumante si se cambian las dosificaciones. Se analizarán los resultados obtenidos de manera cuantitativa, tomando en cuenta los parámetros

establecidos. También se compararán estos resultados para identificar el costo, ventajas y desventajas que presenta el concreto celular versus dichos materiales, con el fin de proporcionar otras opciones de sistema de construcción mejorada y tomando en cuenta que es una investigación de tipo descriptiva; se utilizarán los métodos más conocidos, técnicas e instrumentos apropiados para la recolección de datos, se expondrá la propuesta y se desarrollará la interpretación y análisis que se obtendrán en los respectivos ensayos, además. En cuanto a la propuesta se describe la idea de generar un nuevo método para su posterior aplicación, explicando con detalles acerca de los espumantes, dando a conocer sus detalles finalmente se realizan las conclusiones y recomendaciones respectivas del proyecto ejecutado.

## **1.6 VARIABLES**

### **1.6.1 Variables Dependientes:**

Propiedades mecánicas del hormigón celular.

### **1.6.2 Variables Independientes**

- a) Agregados finos
- b) Tipos de espumantes

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definición del hormigón

(Mastropiero, 2021) define que: El hormigón es una piedra artificial formada por cuatro componentes básicos: cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y eventualmente aditivos que a través de una reacción química entre el cemento y el agua producen una masa compacta, cuya densidad varía entre 2200 a 2400 kg/m<sup>3</sup>, los agregados ocupan del 60 al 75 % del volumen total del hormigón y a su vez influyen en la resistencia mecánica y densidad final del hormigón

Para obtener distintos tipos de hormigón (fraguado, alta resistencia, resistencia a la humedad, etc.) se realizan distintas combinaciones tanto en tipo, como en cantidad de los materiales que lo conforman.

### 2.2 Hormigón liviano

Se conoce como hormigón liviano a aquel que produce una densidad inferior a 1900 kg/m<sup>3</sup>, ya que el hormigón convencional presenta una densidad normal de 2400 kg/m<sup>3</sup>. El hormigón ligero es un tipo de hormigón específico que tiene muchas utilidades, especialmente cuando se trata de levantar estructuras en las que es necesario reducir el peso de esta, ya sea por la altura que va a alcanzar o por las condiciones que va a tener que soportar. Por otro lado, se trata de un material que destaca por su baja conductividad, lo que lo convierte en un aislante excelente y constituye una ventaja añadida a este tipo de material que no se deberá pasar por alto. No obstante, hay que tener en cuenta que el hormigón ligero se podrá conseguir de diferentes maneras. De hecho, lo que convierte a un hormigón en ligero, es que su densidad sea igual o inferior a 2,0 kg/dm<sup>3</sup>. (Caicedo Barona & Tipán Quinatoa, 2019).

### 2.3 Tipos de hormigones livianos

- **hormigón sin finos.** – Resulta al eliminar de un hormigón normal las fracciones más finas del agregado, quedando un hormigón de tipo poroso con gran cantidad de huecos, esta mezcla crea una estructura de célula abierta.

- **hormigones con agregados ligeros.** - Utilizan agregados de reducida gravedad específica con densidades inferiores a 2.500 kg/m<sup>3</sup>.
- **hormigón celular, hormigón aireado, u hormigón espuma.** – Se obtiene incorporando al hormigón aire o espumantes, formando burbujas de gran tamaño con diferente proporción y diámetro. (Lazo Arraya, 2017)

**Tabla 1**  
*Clases de concreto ligero*

CLASES DE CONCRETO LIGERO DE ACUERDO CON EL PROCESO DE FABRICACIÓN			
SIN FINOS	DE AGREGADO LIGERO	CELULARES	
		AGENTES QUIMICOS	AGENTES ESPUMOSOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piedra triturada</li> <li>• Grava</li> <li>• Pómez</li> <li>• Clinker</li> <li>• Cenizas sintetizadas</li> <li>• Escoria espumosa</li> <li>• Arcillas o pizarras expandidas</li> <li>• Arcilla esquistosa expandida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escoria espumosa</li> <li>• Clinker</li> <li>• Perlita expandida</li> <li>• Vermiculita exfoliada</li> <li>• Pómez</li> <li>• Agregados orgánicos</li> <li>• Arcillas o pizarras expandidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polvo de aluminio</li> <li>• Peróxido de hidrogeno y cloruro de cal</li> <li>• Polvo de zinc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espuma preformada</li> <li>• Espuma en la mezcla</li> </ul>

*Nota: Fuente autor*

## 2.4 Hormigón celular

Hormigón celular es aquel que contiene células o burbujas estables de aire o gas uniformemente distribuidas en la pasta de cemento, se puede elaborar sin utilizar agregados o se puede utilizar solamente agregado fino como también agregado fino y

grueso, o en el caso del concreto con agregados ligeros, agregado grueso con una granulometría tal que cubra desde gruesa hasta fino. (Mairongo Sánchez, 2018).

## **2.5 Métodos para la elaboración del hormigón celular**

Existen diversas formas de preparar el concreto celular espumante pero la gran mayoría pueden ser resumidas en tres categorías:

- Métodos que dependen de una reacción química.
- Métodos que dependen de un batido mecánico
- Métodos híbridos, depende tanto de un batido mecánico, de la performance de la concentración de un aditivo espumante inteligente y una reacción química.

Los sistemas prefabricados a través del tiempo han presentado diferentes cambios para poder adaptarse a las necesidades y exigencias de cada momento. Existen varios métodos para la elaboración del hormigón celular, los más conocidos son:

### **Hormigón celular con inclusión de burbujas**

De acuerdo al procedimiento utilizado para la preparación, las células se pueden dividir en dos grandes grupos dependiendo de cómo se derive la mezcla. (CONTRERAS, 2016)

- Hormigón Celular por desprendimiento de gas.
- Hormigón Celular con base de espuma.

### **Hormigón Celular por desprendimiento gaseoso**

Las células o burbujas se obtienen mediante una reacción química que resulta por el desprendimiento de gases. Se conocen 3 tipos de procedimiento para la generación de burbujas:

- 1) Incluir dos productos químicos que reaccionan entre sí en presencia del agua de mezclado y provocan un desprendimiento de gas.
  - Ácido clorhídrico y bicarbonato de sodio, con desprendimiento de gas carbónico.
  - Cloruro de cal y agua oxigenada, con desprendimiento de oxígeno.
  - Carburo de calcio y agua, con desprendimiento de acetileno.
- 2) Incluir a la mezcla de un producto químico capaz de reaccionar con el cemento en presencia del agua y causar un desprendimiento de gas.
  - Polvos metálicos (calcio, aluminio, magnesio, zinc, bario, litio).

- Sales (carbonatos, bicarbonatos).
- 3) Incluir a la mezcla de un producto capaz de causar un desprendimiento de gas por medio de la fermentación bajo el efecto del calor de hidratación del cemento tal como:
- Levaduras orgánicas
  - Fermentaciones lácticas

**Hormigón celular en base de espuma** La formación de alveolos dentro del bloque de hormigón es el resultado de la incorporación de un agente espumante a la mezcla, lo que produce espuma con burbujas de aire cuando se agita, al endurecer la mezcla las burbujas quedan atrapadas para formar células finas que no están conectadas entre sí. En principio cualquier producto de espuma puede usarse para este propósito, pero la presencia del agua y el proceso de mezclado reducen la tensión superficial lo que provoca que se rompan las burbujas.(CONTRERAS, 2016).

**Hormigón celular con áridos livianos** (CONTRERAS, 2016), Argumenta que, en la fabricación de hormigones livianos, la arena (agregado) se puede reemplazar parcial o completamente por diferentes agregados livianos. La mezcla de concreto consiste en agregados livianos, que pueden ser escorias de altos hornos, piedra pómez, arcilla o lutita (cocida para desarrollar estructuras porosas), polietileno expandido.

## 2.6 Ventajas del hormigón celular

(Robalino Villagomez, 2016) y (Retamal, Rougier, & Escalante, 2020) señalan que las principales ventajas del hormigón celular son:

- En zonas donde los suelos tienen baja capacidad portante y en regiones sísmicas donde se busca reducir las fuerzas de inercia.
- Tienen buena trabajabilidad y mayor fluidez que disminuyen los costos de compactación y facilita el llenado en los encofrados, aun cuando exista congestión de armaduras.

- La fluidez y la segregación dan como resultado una mayor homogeneidad y mínima cantidad de vacíos y esto permite obtener un mejor nivel de terminación y buena durabilidad de la estructura
- El hormigón celular tiene una muy buena consistencia debido a la ausencia de árido grueso y la espuma que proporciona trabajabilidad. Esta mezcla se auto nivela, es decir, se distribuye uniformemente y permite llenar cualquier vacío. No se necesita vibración
- El hormigón celular es un material no inflamable y su conductividad térmica es muy baja. Debido al bajo flujo de calor del material, se puede aplicar a sistemas de protección contra incendios.
- Tiene altos niveles de aislación térmica y en combinación con la baja utilización de cemento y agregados, dando como resultado un material ambientalmente sustentable, siendo este aspecto de interés social y económico cada vez mayor.
- Al incluir fibras estos hormigones aumentan su modulo elástico, mejorando el comportamiento a tracción y a flexión, cociendo las fisuras que se generan por estos esfuerzos en el material. En consecuencia, es posible obtener un material superior con propiedades mejoradas.

## **2.7 Desventajas del hormigón celular**

- Experimenta mayor contracción por fragüé, es más frágil, y su módulo de elasticidad es más bajo, para las resistencias mecánicas equivalentes.
- Es un material más costoso
- Tiene limitado su uso estructural
- Es más vulnerable a agentes químicos debido a que este posee mayor porosidad.
- Posee bajas resistencias debido a la presencia de vacíos. Muchas veces es difícil llegar a la resistencia deseada.
- El sistema de dosificación, mezclado y curado debe ser muy cuidadoso en el momento de producción, ya que cualquier factor puede alterar sus propiedades.
- El encofrado necesita de mayor cuidado para el momento de la colocación.
- Requiere un curado en cámaras herméticas muy resistentes y muy costosas, especialmente si se trata de elementos de grandes dimensiones. (Cevallos Macias & Gonzabay Asencio, 2020)

## 2.8 Aplicaciones y Restricciones de uso del hormigón celular

**Paredes de Poliestireno Expandido:** Estos se destacan por tener densidades muy bajas que no superan los  $35 \text{ kg/m}^3$ , lo cual los convierte en un material considerablemente ligero, además de que posee una gran resistencia mecánica y cohesión, lo que hace posible que se lleven a cabo obras que requieran resistencia vertical y horizontal. Además, este material tiene un alto porcentaje de posibilidades para ser reciclado y usado en distintas aplicaciones.

**Restricciones:** El sistema constructivo con paneles de poliestireno expandido no es estable frente al fuego. Requiere un costo alto en el ámbito medioambiental para su producción. Al tratarse de un sistema nuevo, resultaría costoso capacitar a los obreros, además de promover el uso de dicho sistema.

**Bloques de Hormigón:** Los bloques de hormigón son elaborados de cemento, agregados y agua. Dichos bloques usualmente tienen un ancho que varía entre 10 – 30 cm, una altura máxima de 20 cm y un largo máximo de 40 cm. Su peso oscila entre 10 y 15 lb. Tiene una resistencia a la compresión de 3 a 4 MPa y una absorción al agua alrededor de un 20%. Sus características principales son el aislamiento térmico y acústico, ya que en el interior del bloque se forma una cámara de aire cuando ha sido colocado en obra, y además es de fácil manipulación y el material más usado en el país.

**Restricciones:** Debido a sus componentes resulta un material de alta porosidad, lo cual ocasiona que, en lugares fríos, los bloques aumentan su volumen cuando se humedecen y congelan, haciendo que la mampostería se fisure. Requiere mayor tiempo de fraguado, lo cual produce fisuras en las paredes. Dañan la capa de ozono, y además se requiere una gran demanda energética para los procesos que intervienen en su fabricación tales como: mezcladora, vibrado y prensado, entre otros. Puede presentar alabeo (concavidad o convexidad) por deformaciones en sus caras superficiales.

**Bloques de Arcilla** Su componente principal es la arcilla (compuesta por silicatos de aluminio), material que se obtiene de la descomposición de rocas ígneas, con acabado liso o rugoso. La elaboración de los bloques consiste en 6 etapas: almacenamiento, molienda/mezclado, amasado, moldeo, secado y cocción (temperaturas desde  $875^\circ\text{C}$  hasta  $1000^\circ\text{C}$ ). En este último proceso existe un alto consumo de combustible y se emiten gases contaminantes al aire. Los bloques más

comunes son de dimensiones de 10X20X41 cm y poseen una resistencia a la compresión alrededor de 4 MPa. El peso de los bloques oscila entre 11 y 24 libras, dependiendo de sus dimensiones. El precio por unidad varía entre \$0,47 – \$0,6. Tiene propiedades de aislante térmico, acústico y baja absorción (16%, aproximadamente). Permite reducción de secciones de hormigón y acero, optimiza el rendimiento de instalación, no conduce calor, máxima protección contra el fuego, alta densidad, no absorbe humedad, componentes no tóxicos.

**Restricciones:** En el proceso de fabricación, el proceso de secado influye en la resistencia y calidad final. También, su calidad varía según el proceso de fabricación (artesanal o industrial). Superficies más lisas que impiden la adherencia al mortero y enlucido. Solo en Estados Unidos, Europa y Japón su empleo es obligatorio para viviendas, escuelas, y otras estructuras, por lo que en nuestro país no existe una comercialización masiva de estos bloques (Gámez Quiñónez, Flores Arámbulo, & Rada Valdivieso, 2012).

**Bloques de Hormigón Celular:** Los bloques fabricados con hormigón celular poseen bajas densidades que oscilan entre 600 – 900 kg/m<sup>3</sup> para su utilización en paredes y losas en viviendas residenciales. Su fabricación requiere de poca energía y al aire solo se emite vapor de agua. Su peso está en el orden del 50% de un hormigón convencional, lo que permite la reducción en la carga muerta y, por consiguiente, reducir las secciones de los elementos estructurales. Entre sus principales ventajas, está la fácil manejabilidad en el transporte, colocación que reducen los tiempos de finalización en obra, es accesible económicamente, además de que se genera un ahorro en materias primas, capacidad aislante (mayor contenido de aire), alta porosidad, alto aislamiento térmico, protección contra el fuego, aislamiento acústico, y tiene un comportamiento similar al convencional (Aroni, 2011).

**Restricciones:** Su alta porosidad lo hace vulnerable a daños físicos (dependiendo de su uso). La capacidad de reducción de secciones es más notoria en obras gruesas (edificios, por ejemplo). La resistencia a la compresión depende directamente de la densidad (Aroni, 2011). Con las alternativas analizadas, es posible evaluarlas considerando 4 criterios con su correspondiente ponderación: social (20%), técnico (15%), ambiental (25%) y económico (40%). Así, la opción más viable resulta ser los bloques elaborados con hormigón celular y la menos favorable es la opción que abarca el material de construcción que comúnmente se utiliza en mampostería: los

bloques de hormigón convencional.(Reyes Quijije, Rocha Tamayo, & García, 2021)

## 2.9 Características de los materiales

### 2.9.1 Cemento Portland

Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. El cemento es el principal componente del concreto, el cual tiene propiedades de adhesión y cohesión, que al hacer contacto con el agua reacciona químicamente para unir materiales áridos, como la arena y la grava, formando una pasta uniforme, maleable y plástica que, al pasar por un proceso de fraguado, se endurece, volviéndose suficientemente resistente y durable a las cargas solicitadas. (DURAN HERRERA & Velasquez Amado, 2016)

**Tabla 2**  
*Clasificación del Cemento Portland.*

	TIPO	DESCRIPCION	NORMA	
			INEN	ASTM
PUROS	I	Uso común	152	C 150
	II	Moderada resistencia a sulfatos	152	C 150
	III	Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V	Alta resistencia a la acción de sulfatos	152	C 150
PUROS	IS	Portland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Portland puzolánico	490	C 595
	P	Portland puzolánico (cuando no se	490	C 595
	I (PM)	Portland puzolánico modificado	490	C 595
	I (SM)	Portland con escoria modificado	490	C 595
	S	Cemento de escoria	490	C 595
POR DESEMPEÑO	GU	Uso general	2380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a sulfatos	2380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C 1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C 1157

*Nota:* Cementos Portland según su Tipo. Fuente: Tomado del *Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón (INECYC, 2007)*.

### **2.9.2 Árido**

La arena, es uno de los materiales que más se ha utilizado en la construcción. Ha estado presente en todas las etapas de la civilización. La arena se conoce como un material cuyas partículas de tamaño varían entre 0,063 y 2 milímetros. Se emplea en las mezclas de hormigón según la exigencia de uso: por ejemplo, S1, S2, S3, P1 y C2; donde S es la resistencia a los sulfatos, P es la permeabilidad y C es la resistencia a la corrosión. Así mismo, es uno de los más abundantes del planeta y debido a sus características se puede comprimir con facilidad y utilizar para reforzar estructuras.

Según (Rocha Álvarez, Pérez, & Villanueva, 2020). La granulometría de las arenas se clasifica en arenas gruesas, medias y finas. Las gruesas son aquellas que pasan por el tamiz N°4, pero son retenidas por el tamiz N°8 (; las arenas medias pasan por el tamiz N°8 y son retenidos por tamiz N°30; las arenas finas pasan por el tamiz N°30, pero son retenidas por el tamiz N°50.

- **Árido fino:** (Jacinto Aquino, 2021) Define a aquel agregado que pasa por el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz estandarizado 74 μm (N° 200), el cual puede consistir en arena natural, arena procesada o la combinación de ambas.

### **2.9.3 Agua**

La cantidad de agua para la fabricación del hormigón celular se dosifica por consistencia, ya que el exceso de agua queda en los poros y posteriormente se evaporará, no teniendo la connotación que tiene en los concretos convencionales, las relaciones agua/cemento utilizadas van desde 0.4 a 0.6n teniendo en cuenta que la falta de agua produce una mezcla muy seca que rompe las burbujas, un exceso de agua hace que la pasta sea muy fluida y que las burbujas se segreguen de la mezcla. (Perez, Chumacero, & Pretel, 2021)

### **2.9.4 Espumante**

Como menciona (Mancheno Guallichico & Salazar Pozo, 2021). Los espumantes son una forma de incorporar agua a una mezcla a través de la mezcla de un aditivo con agua y aire, son comúnmente usados para la elaboración de hormigón celular, cuya principal característica es su baja densidad comparada a un hormigón normal, el objetivo es producir espuma que será añadida a la mezcla de hormigón con el fin de que las micro burbujas se incorporen y mezclen con la pasta de cemento, produciendo micro vacíos ya que las burbujas son compuestas por aire, aditivo y agua.

- **Espumante # 1:** Es un detergente espumante con estabilizantes y espesantes, entre la familia de los surfactantes aniónicos, elaborado de forma casera el estabilizante de espuma sirve para que esta pueda mantener la burbuja de aire estables y sea capaz de resistir las fuerzas físicas y las interacciones químicas que se producen en el proceso de mezclado.
- **Espumante #2:** Utilizado comúnmente para apagar incendios, es un concentrado de espuma formadora de película acuosa, que tiene la característica de formar una película, debido a que la llama se apaga rápidamente y se logra el sellado de la superficie del combustible. Está formulado con tensioactivos fluorados basados en C6 respetuosos con el medio ambiente, tensioactivos de hidrocarburo y estabilizadores para ofrecer el mejor rendimiento y una larga vida útil. Debido a la presencia de surfactante fluorado, la espuma tiene un coeficiente de dispersión positivo en la superficie del combustible.
- **Espumante #3:** Agente espumante para fabricar hormigón celular, para la aplicación en rellenos de nivelaciones de pisos, zanjas de tendido de conductos, tuberías antiguas y minas, excavaciones alrededor de edificios y piscinas, para la construcción de capas aislantes térmicas sobre y bajo edificios, elementos prefabricados en que no se requieran altas resistencias mecánicas, etc es posible obtener hormigones con densidades de hasta 1500 kg/m<sup>3</sup>

### 2.9.5 Equipo para fabricación de espuma

Existen muchas maneras de generar la espuma, en este caso la máquina se la realizó por medio de los siguientes componentes:

- Bomba neumática (ver la Fig. 3)
- Compresor

**Figura 3**

*Maquina generadora de espuma usada para la elaboración del hormigón celular.*



*Nota: Imagen tomada por autor con permiso del fabricante.*

# CAPITULO III: METODOLOGÍA

## 3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

### 3.1.1 Tipo.

Se realizará una investigación del tipo experimental en donde se ejecutará el diseño de morteros convencionales y respectivamente la cantidad de espuma para un diseño de  $1\text{m}^3$  de mortero celular con 3 espumantes diferentes. Las pruebas realizadas posteriormente en los cilindros están sujetas a normativas aplicadas en los ensayos de laboratorio, para determinar el respectivo análisis comparativo con los 3 espumantes.

### 3.1.2 Nivel

Como nivel de investigación en el presente tema de estudio tenemos el explicativo y aplicativo. El explicativo porque debemos analizar los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de los hormigones y aplicativo porque se debe realizar los ensayos para luego determinar las dosificaciones para hacer los hormigones.

## 3.2 METODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION

### 3.2.1 Método

El método aplicado en la presente investigación es el hipotético deductivo porque particularmente al realizar los ensayos, podemos llegar a obtener la dosificación de los diseños de hormigones con los 3 diferentes espumantes.

### 3.2.2 Enfoque

En este trabajo de investigación usaremos el enfoque cuantitativo debido a que se basa en diseño de hormigones la cual requiere de cantidades exactas para poder ejecutarse.

### 3.2.3 Diseño

Para la elaboración de la mezcla de hormigón celular se usó el método gravimétrico (ASTM C138, 2014), llamado así ya que este se enfoca en el peso específico inicial del mortero y no en la dosificación de cada uno de sus componentes (Rengifo & Yupangi, 2013). Este se realiza, calculando la cantidad de mortero convencional y

respectivamente la cantidad de espuma para un diseño de 1m<sup>3</sup> de mortero celular, con diferentes masas unitarias. (Acosta López, 2003). Es decir, el cálculo se hace con respecto a la masa unitaria del mortero convencional que es en promedio (Acosta López, 2003).

En el diseño se explican los ensayos utilizados para la elaboración de las probetas de hormigón, la caracterización de los materiales utilizados, así como los ensayos realizados al hormigón en estado fresco y endurecido a los 7, 14, 28 días.

### **3.3 Metodología del OE1: Obtener un diseño de Hormigón Celular D800 mediante pruebas experimentales para estudiar el comportamiento mecánico con cada uno de los 3 agentes espumantes.**

Para la elaboración de la mezcla de hormigón celular se usó el método gravimétrico (ASTM C138, 2014), llamado así ya que este se enfoca en el peso específico inicial del mortero y no en la dosificación de cada uno de sus componentes (Rengifo & Yupanqui, 2013). Este se realiza, calculando la cantidad de mortero convencional y respectivamente la cantidad de espuma para un diseño de 1m<sup>3</sup> de mortero celular, con diferentes masas unitarias. (Acosta López, 2003). Es decir, el cálculo se hace con respecto a la masa unitaria del mortero convencional que es en promedio (Acosta López, 2003), a continuación, se detalla un breve resumen de la metodología que usamos para realizar los ensayos a los agregados finos:

- a. Obtención del agregado fino.
- b. Ensayos realizados al agregado: granulometría, contenido de humedad, porcentaje de absorción, peso volumétrico suelto peso volumétrico varillado.
- c. Diseño de la mezcla incorporando aire con los 3 agentes espumantes.
- d. Ensayo en estado fresco.
  - ✓ revenimiento mediante la norma NTE INEN 1578.
  - ✓ Resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 días.
  - ✓ Cambio de volumen del concreto.

### **3.4 Metodología del OE2 Analizar el costo con cada uno de los agentes espumantes.**

El análisis de costo consiste en desglosar el costo por unidad de medida de cada rubro, identificando los rendimientos, costos y cantidades de cada uno de los insumos o

materiales a utilizarse, y así establecer dichos costos en los diferentes componentes del rubro como: materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos.

### **3.5 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUETREO.**

#### ***3.5.1 Población***

La población de estudio es un conjunto de casos en común que formarán un objeto de estudio. (Lilia, 2015). En el presente se estudió la elaboración de los hormigones celulares con cemento portland tipo GU (uso general), agregado fino extraído de la cantera del Río Boliche provincia del Guayas, comprados en la provincia de Santa Elena y las respectivas espumas; una es producto de investigación del proyecto de hormigones celulares de la UPSE, otra es una espuma usada para incendios, la última es un producto especializado en hormigones celulares. a los cuales se les realizo ensayos en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

#### ***3.5.2 Muestra***

(Lilia, 2015), define a la muestra como parte del elemento o subconjunto de la población seleccionada. Se utiliza para estudiar a la población de una forma más factible, debido a que se puede contabilizar fácilmente. Cuando se va a realizar algún estudio sobre el comportamiento, propiedades o gustos del total de una población específica, se suelen extraer muestras.

Para el siguiente estudio se tomó como muestra la elaboración de un total de 36 cilindros, con las dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud.

#### ***3.5.3 Muestreo***

“Herramienta esencial que permite comprender el comportamiento de una población infinita a partir de un subconjunto, para así obtener una mayor precisión de los resultados”.(Lilia, 2015). Los factores más importantes a la hora de hacer un muestreo son la representatividad, para que los elementos posean cualidades comunes según sea el propósito, y la aleatoriedad al momento de seleccionar los elementos para evitar una muestra viciada.

Los hormigones celulares que elaboramos son las probetas cilíndricas ensayados a resistencias a compresión de esa manera podemos determinar los comportamientos en estado fresco y endurecido del hormigón.

### 3.6 OPERACIÓN DE VARIABLES.

En la Tabla 3, se presentará un cuadro de operaciones de las variables utilizadas en el proyecto.

**Tabla 3**  
*Cuadro de operación de variables*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Diseño de mezclas por el método ACI 211.1	Es el método para determinar las proporciones de los insumos en base a tablas (ACI 211.1), para obtener una mezcla adecuada.	El diseño de mezcla para sustituir el agregado grueso por aire	Concreto en estado fresco	Asentamiento	cm
			Concreto en estado endurecido	Resistencia a la compresión	kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la Flexión	Mpa
				Modulo elástico	Gpa
Agente espumante	Uso de tres espumantes de origen proteico y sintético	Se determina mediante ASTM C796	Método de prueba estándar para agentes espumantes para uso en la producción de hormigón celular.	Estabilidad Densidad Rendimiento	Min Gr/L %
Agregados finos	Arena negra (cantera el Triunfo)	Se determina mediante NTE INEN 696, INEN 857, INEN 856, INEN 862, INEN 858	Propiedades físicas propiedades mecánicas	granulometría	%

*Nota: Autores.*

### 3.7 OBTENCION DEL ÁRIDO FINO.

#### 3.7.1 Arena Negra

Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial de rocas, con diferentes gradaciones, que pasa el tamiz (3/8 pulg) y que cumple con lo establecido en las normas ASTM C33/ C33M, C144, C330/ C330M o C332, este agregado ocupa la mitad del volumen y peso de la mezcla que se va a utilizar en la elaboración del hormigón celular, el agregado fino que se va a utilizar en este proyecto es proveniente del Río Boliche provincia del Guayas, la cual será sometida a respectivos ensayos según las normas.

### 3.8 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.

Según el ACI 523.3R-14, el agregado fino para la elaboración del concreto celular debe cumplir con las normas ASTM C33/ C33M, C144, C330/ C330M o C332. Se detalla las especificaciones técnicas del agregado fino en la Tabla 4.

La granulometría deberá cumplir con los parámetros establecidos para permitir una mejor cohesión y trabajabilidad a cualquier tipo de hormigón.

**Tabla 4**

*Especificaciones técnicas del agregado fino según Norma ASTM C3/C33M, C144, C33/C330M o C332*

ESPECIFICACIONES ASTM		
N°	Mm	PORCENTAJE QUE PASA
3/8	9,5 mm	100
4	4,75 mm	95-100
8	2,36 mm	80-100
16	1,18 mm	50-85
30	600 µm	25-60
50	300 µm	5-30
100	150 µm	0-10

*Nota: Obtenida de Normas ASTM C3/C33M, C144, C33/C330M o C332*

#### **Análisis Granulométrico del Agregado Fino norma NTE INEN 696 (ASTM C-136).**

El ensayo de granulometría consiste en hacer pasar una muestra representativa del agregado por una serie de tamices con aberturas que deben estar ordenadas en forma decreciente.

El módulo de finura es una constante que indica el grosor promedio de las partículas que conforman el agregado.

### **Equipos y materiales para realizar el ensayo de granulometría**

- ✓ Tamices correspondientes para agregado fino, bajo la normativa ASTM C136.
- ✓ Horno que mantiene temperaturas estables de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Brocha.
- ✓ Cepillo.
- ✓ Equipo de tamizado vibratorio.

### **Procedimiento:**

- 1 Ponemos al horno a temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  cierta cantidad de arena, una vez seca se tomó 1200 g para realizarle la granulometría.
- 2 Buscamos los tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, y fondo que son los requeridos por la norma ASTM C136 (ver Fig.4).
- 3 Se ordenó los tamices tal cual el numeral 2.
- 4 Colocamos el material a tamizar y se procede a realizar un movimiento vibratorio de manera manual por un aproximado de un minuto.(ver Fig. 4)
- 5 Se coloca el material en la maquina vibratoria.
- 6 Colocamos el material retenido en cada tamiz en diferentes taras ayudándonos con el cepillo y la brocha para así obtener todo el material.

### **Figura 4**

*Proceso de ensayo granulométrico del agregado fino*



### **Cálculos para obtener el porcentaje retenido y el módulo de finura del agregado fino.**

El porcentaje retenido se lo hace dividiendo el porcentaje retenido con respecto al peso total de la muestra ecuación (1).

**% Retenido (R )**

$$R = \frac{\text{Porcentaje retenido en el tamiz (gr)}}{\text{Peso total de la muestra (gr)}} \times 100 \quad (1)$$

Mientras que el módulo de finura se lo calcula con la sumatoria R acumulado dividido para 100, como se muestra en la ecuación (2).

**Módulo de finura (MF))=**

$$MF = \frac{\sum R_{\text{acumulado}}}{100} \quad (2)$$

### **3.9 MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) NORMA NTE INEN 858 (ASTM C-29).**

Este ensayo es utilizado para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del agregado, en estado suelto o compactado para posteriormente calcular los vacíos entre en las partículas del agregado fino.

#### **Equipos y materiales para realizar el ensayo de Peso Volumétrico**

- Recipiente de metal en forma cilíndrica, impermeable que cumpla con las especificaciones NTE INEN 858 (ASTM C29).
- Pala.
- Balanza.
- Varilla de compactación lisa de 600 mm de longitud y 16 mm de diámetro aproximadamente.

**Procedimiento:**

1. Pesamos una cantidad de 500 g en la balanza.
2. Se coloca el molde sobre una superficie plana donde no exista movimiento (ver Fig. 5).
3. Se colocan los 500 g del agregado fino a una altura  $\leq 50\text{mm}$  de la parte superior del molde evitando que el material se expanda demasiado.
4. Nivelamos con ayuda de la varilla la superficie del agregado fino.
5. Pesamos el molde con el agregado fino.

**Figura 5**

*Elaboración del ensayo de masa unitaria o peso volumétrico.*



*Nota: Procedimiento del ensayo masa unitaria realizado en laboratorio UPSE*

**Cálculos para obtener la masa unitaria (peso volumétrico) del agregado fino.**

En la ecuación 3 se detalla la fórmula utilizada.

$$\text{Masa unitaria} = \frac{(\text{Masa del agregado} + \text{cilindro}) - (\text{Masa del molde})}{\text{Volumen del molde}} \quad (3)$$

### **3.10 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTE INEN 862 (ASTM C-566)**

A través de este ensayo se obtendrá la cantidad de porcentaje de humedad que contiene el agregado fino que posteriormente utilizara en la mezcla de hormigón celular.

#### **Equipos y materiales para realizar el ensayo de Contenido de humedad.**

- Horno que mantiene temperaturas estables de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Agitador de metal
- Balanza
- Recipiente

#### **Procedimiento.**

1. Pesamos una cantidad de muestra del agregado fino.
2. Dejamos secar la muestra una temperatura adecuada de calor.
3. Al día siguiente sacamos la muestra del horno y dejamos unos minutos a temperatura ambiente.
4. Determinamos la cantidad de muestra seca.

#### **Cálculos para obtener el contenido de humedad del agregado fino.**

La muestra húmeda menos la muestra seca sobre muestra seca todo por 100, como se muestra en la ecuación 4.

$$\text{Humedad} = \left( \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra seca}} \right) \times 100 \quad (4)$$

### **3.11 DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO SEGÚN NORMA NTE INEN 856 (ASTM C-128).**

La densidad de la superficie saturada se usa para calcular el volumen requerido que necesitará el agregado fino en la mezcla de hormigón celular. El valor de absorción se puede leer después de la inmersión del agregado seco en el agua durante un periodo determinado.

### **Equipos y materiales para realizar el ensayo de Densidad saturada superficialmente seca y absorción.**

- Picnómetro de 0.1 cm<sup>3</sup>
- Horno que mantiene temperaturas estables de 110 °C ± 5°C.
- Balanza
- Glicerina
- Matraz de Le Chatelier
- Compactador metálico con una masa en la parte inferior de 340g ±15g.
- Molde en forma de cono truncado con sus respectivas dimensiones según la norma.

### **Procedimiento.**

- 1 Pesamos una cantidad de 500 g como lo especifica la normativa.
- 2 Colocamos la muestra en el horno a una temperatura de 110°C durante un día (24 horas).
- 3 Retiramos la muestra del horno y dejamos enfriar para poder trabajar con el agregado.
- 4 Se le agrega una cantidad necesaria de agua y dejamos reposar un tiempo determinado.
- 5 Se coloca la muestra sobre una superficie plana hasta lograr que las partículas del agregado fino se adhieran entre ellas.
- 6 Llenamos el molde en forma de cono truncado con el material obtenido.
- 7 Aplicamos 25 golpes en la superficie del material.
- 8 Colocamos más del agregado fino y volvemos a repetir los 25 golpes hasta que el cono truncado colapse.
- 9 Llenamos el picnómetro con agua hasta llegar a la calibración, colocamos el material obtenido en el paso anterior.
- 10 Se elimina la cantidad de aire por medio de la glicerina.
- 11 Retiramos el agregado fino del picnómetro.
- 12 Reservamos en un recipiente, para poder ingresar la muestra al horno a 110°C durante un día (24 horas).
- 13 Al día siguiente pesamos la muestra, la dejamos reposar un período de tiempo, pesamos la cantidad del agregado fino que quedo.

### **Cálculos para obtener la Densidad saturada superficialmente seca y absorción.**

Densidad saturada superficialmente seca mostrada en la ecuación 5.

$$\text{Densidad} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (5)$$

**Dónde:**

**A**= Masa de la muestra seca al horno.

**B**= Masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración.

**C**= Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración.

**S**= Masa de la muestra de agregado fino superficialmente seca.

Porcentaje de absorción del agregado mostrada en la ecuación 6.

$$\text{Absorción} = \left( \frac{S - A}{A} \right) \times 100 \quad (6)$$

**Dónde:**

**S**= Masa de la muestra del agregado fino superficialmente seca.

**A**= Masa de la muestra seca al horno.

### **3.12 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO.**

En este trabajo de investigación se utilizó el cemento tipo GU, de empresas Holcim (ver Fig. 6), siendo este un cemento hidráulico de alta resistencia inicial fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 que equivale a la Norma ASTM 1157. Esta directriz permite fabricar cementos con adiciones basados en su desempeño, que minimizan el impacto ambiental y dan como resultado un uso muy eficiente de las materias primas.

Según la guía ACI 523.3R14, el tipo de cemento que se puede utilizar para la elaboración del hormigón celular debe cumplir con los parámetros ASTM C150M para cemento portland, ASTM C595/C595M para cementos hidráulicos combinados o ASTM C1157/C1157M para especificación de desempeño para cemento hidráulico.

**Figura 6**  
*Cemento usado. a) presentación b) muestra c) vista microscópica.*



### **3.13 AGUA.**

El agua utilizada en este proyecto de investigación proviene de la empresa Aguapen EP, logotipo de la empresa en la Figura 7, que es apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, sustancias alcalinas, ácidos y material orgánico.

**Figura 7**  
*Empresa proveedora de agua de la provincia de Santa Elena.*



### 3.14 AGENTE ESPUMANTE

La composición química del agente espumante se basa en agentes tensioactivos y dentro de la mezcla de hormigón celular su función es crear pequeñas burbujas capaces de aumentar la estabilidad del aire, reduciendo la tensión superficial.

En el presente trabajo se utilizó tres tipos de agentes espumantes los cuales se describen a continuación.

- **Espumante #1:** Es un detergente espumante con estabilizantes y espesantes, entre la familia de los surfactantes aniónicos, el estabilizante de espuma sirve para que esta pueda mantener la burbuja de aire estables y sea capaz de resistir las fuerzas físicas y las interacciones químicas que se producen en el proceso de mezclado.

En la Tabla 5 tenemos los datos técnicos del espumante 1 y en la Tabla 6 los ingredientes proporcionados en la ficha técnica del fabricante del espumante 1.

**Tabla 5**  
*Datos técnicos del agente espumante #1*

<b>Características</b>	
<b>Apariencia</b>	Líquido viscoso
<b>Color</b>	Blanco
<b>PH (25° C)</b>	En proceso de realización de ficha técnica.
<b>Solubilidad</b>	Agua
<b>Densidad</b>	En proceso de realización de ficha técnica.
<b>Rendimiento</b>	0.09

*Nota: tabla tomada de ficha técnica del espumante #1*

**Tabla 6**  
*Ingredientes que componen el agente espumante #1*

<b>Ingredientes</b>	<b>No. CAS</b>	<b>Concentración (% w/w)</b>
Surfactante aniónico	-----	10-20
carboximetilcelulosa sódica	9004-32-4	≤ 2
2-(2,4-diaminofenoxi) etanol; diclorhidrato	11138-66-2	≤ 2

*Nota: tabla tomada de ficha técnica del espumante #1*

En la Figura 8 presentación del producto del espumante 1 y en la Figura 9 ya la espuma agitada mecánicamente y vista a nivel microscópico.

**Figura 8**  
*Espumante #1*



**Figura 9**

*Espumante #1 vista a nivel microscópica.*



- **Espumante #2:** Utilizado comúnmente para apagar incendios, es un concentrado de espuma formadora de película acuosa (AFFF) que tiene la característica de formar una película, debido a que la llama se apaga rápidamente y se logra el sellado de la superficie del combustible. Está formulado con tensioactivos fluorados basados en C6 respetuosos con el medio ambiente, tensioactivos de hidrocarburo y estabilizadores para ofrecer el mejor rendimiento y una larga vida útil. Debido a la presencia de surfactante fluorado, la espuma tiene un coeficiente de dispersión positivo en la superficie del combustible.

En la Tabla 7 se muestra los datos técnicos del espumante 2, en la Tabla 8 vemos los ingredientes proporcionados en la ficha técnica del mismo.

**Tabla 7**

*Datos técnicos del agente espumante #2*

<b>Características</b>	
<b>Apariencia</b>	Líquido
<b>Color</b>	Ámbar
<b>PH (25° C)</b>	6,5- 8.5
<b>Solubilidad</b>	Agua.

<b>Densidad</b>	1.05
<b>Rendimiento</b>	0.04

*Nota: tabla tomada de ficha técnica del espumante #2*

**Tabla 8**  
*Ingredientes que componen el agente espumante #2*

<b>INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES</b>		
<b>Ingredientes</b>	<b>No. CAS</b>	<b>Concentración (% w/w)</b>
Butil carbitol	112-34-5	10-30
Sal metálica	7487-88-9	≤ 4
Polisacáridos	N/A	≤ 5
Mezcla de hidrocarburos surfactantes de fluorocarbono	N/A	10-32
Agua	7732-18-5	QS

En la Figura 10 vemos la presentación del agente espumante y en la Figura 11 vemos la espuma agitada mecánicamente a nivel microscópica.

**Figura 10**  
*Espuma #2*



**Figura 11**  
Espuma #2 Vista microscópica.



- **Espumante #3:** Agente espumante para fabricar hormigón celular, aplicación en rellenos de nivelaciones de pisos, zanjas de tendido de conductos, tuberías antiguas y minas, excavaciones alrededor de edificios y piscinas, para la construcción de capas aislantes térmicas sobre y bajo edificios, elementos prefabricados en que no se requieran altas resistencias mecánicas, etc.

En la Tabla 9 vemos los datos técnicos del agente espumante 3 y en la Tabla 10 los ingredientes del mismo, datos proporcionados en la ficha técnica del fabricante.

**Tabla 9**  
Datos técnicos del agente espumante #3

Características	
<b>Apariencia</b>	Ligeramente viscoso
<b>Color</b>	Marrón
<b>PH (25° C)</b>	8
<b>Solubilidad</b>	Agua
<b>Densidad</b>	1 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Rendimiento</b>	0.05

*Nota: Tabla tomada de ficha técnica del espumante #3*

**Tabla 10**  
*Ingredientes que componen el agente espumante #3*

<b>INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>		
<b>Ingredientes</b>	<b>No. CAS</b>	<b>Concentración (% w/w)</b>
ácido sulfúrico, mono-C10-16-alquil ésteres, sales de sodio	68585-47-7	$\geq 20$ - $< 30$
5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona	26172-55-4	$< 0.1$

En la Figura 12 vemos el producto y en la Figura 13 vemos la espuma ya agitada mecánicamente a nivel microscópico.

**Figura 12**  
*Espumante #3*



**Figura 13**  
Espuma #3 vista microscópica.



### 3.15 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR D800

Para la elaboración de la mezcla de hormigón celular se usó el método gravimétrico (ASTM C138, 2014), Este se realiza, calculando la cantidad de mortero convencional mostrada en la ecuación 7 y respectivamente la cantidad de espuma mostrada en la ecuación 8 para un diseño de 1m<sup>3</sup> de mortero celular, con diferentes masas unitarias. (Acosta López, 2003)

A continuación, se muestra la dosificación del mortero celular con una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>.

$$MU = 2250 \frac{kg}{m^3}, \text{ de mortero convencional}$$

$$MU = 800 \frac{kg}{m^3}, \text{ de mortero celular}$$

$\text{Vol Mortero convencional} = \frac{MU \text{ mortero celular}}{MU \text{ mortero convencional}}$	(7)
--	-----

$$\text{Vol Mortero convencional} = \frac{800 \text{ kg/m}^3}{2250 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol Mortero convencional} = 0.356$$

$Vol\ Espuma = 1m^3 - Vol\ Mortero\ convencional$	(8)
---	-----

$$Vol\ Espuma = 1m^3 - 0.356\ m^3$$

$$Vol\ Espuma = 0.644\ m^3$$

Según lo anterior, se procede con la ecuación 7 a calcular el volumen de mortero convencional necesario para 1m<sup>3</sup> de mortero celular y a su vez el volumen de espuma con la ecuación 8 necesaria dependiendo de la densidad requerida.

En la Tabla 11 se muestra los cálculos estimados para la fabricación de hormigón D800

**Tabla 11**

*Calculo estimado para dosificación de hormigón celular*

<b>Mortero Convencional</b>	0.366
<b>Relleno (espuma)</b>	0.64

En la Tabla 12 vemos recomendaciones del ACI de relaciones arena-cemento y de fuerzas compresivas esperadas. Cabe recalcar que se hicieron ensayos experimentales previos buscando dosificaciones optimas en la que los espumantes trabajen, se observo que en dosificaciones con mayor arena que cemento estos perdían permeabilidad, por lo cual escogimos la opción de una relación 1:1 arena cemento, a pesar de estar sumergidos dos meses su absorción de agua era baja(no mayor al 5%).

**Tabla 12**

*Diseño para hormigón celular D800*

GUÍA PARA HORMIGÓN CELULAR D800 (ACI 523.3R-14)				
DENSIDADES	RELACIÓN ARENA-CEMENTO	RELACIÓN AGUA-CEMENTO	FACTOR CEMENTO (KG/M <sup>3</sup> )	FUERZA COMPRESIVA ESPERADA (MPa)
800	0.79	0.60	355	1.7
800	0.55	0.50	390	2.1
800	0.29	0.50	446	2.8

*Nota: Tabla obtenida de ACI 523.3R-14*

En el folleto “Nuevas tecnologías en concretos, concreto celular” (2008). Nos muestra una tabla con dosificaciones sugeridas para el D800” mostrada Tabla 13. En folleto no se menciona espuma usada. Generalmente los espumantes especializados en hormigón celular nos dan su dosificación sugerida.

**Tabla 13**

*Dosificaciones para D800 sugerida por folleto.*

DENSIDAD (KG/M <sup>3</sup> )	CEMENTO(KG)	ARENA(KG)	AGUA(LITROS)	ESPUMANTE S/B
800	350	370	120	0.8

*Nota: Nuevas tecnologías en concretos, concreto celular*

Teniendo en referencia todas las investigaciones anteriores obtuvimos tablas de dosificaciones diferentes para cada uno de los agentes espumantes después de probarlos con los diferentes espumantes.

### **3.16 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS**

- Dependiendo de la necesidad de la obra, se decidió fijar la densidad aparente característica del hormigón celular en función de su resistencia.
- Seleccionamos el tipo de cemento a usar de acuerdo con los requerimientos de obra, en este caso el GU o Tipo I.
- Determinamos la relación agua/cemento mínimo necesaria, que proporcionan una cohesión suficiente entre los agregados y el cemento.
- Calculamos las cantidades de agua, cemento, árido fino y espuma, necesarias para obtener un m<sup>3</sup> de hormigón celular y los volúmenes correspondientes para los ensayos necesarios.
- Se preparan los moldes engrasándolos para evitar que la mezcla se quede pegada a estos.
- Se calibra la generadora de espuma para una obtener una densidad de espuma de 60gr/l. De acuerdo con la ACI 523, podemos trabajar de 30-80 gr/l.
- Se realiza el ensayo de fluidez de la mezcla.

- Elaboración de hormigón celular. Ver Anexo 3
  - a) Humedecemos el valde con agua que tenga la capacidad suficiente para la mezcla requerida de hormigón celular.
  - b) Se coloca la cantidad necesaria de agua, calculada anteriormente con la relación agua cemento.
  - c) Colocamos el cemento en el valde con agua.
  - d) Procedemos a batir, con la batidora manual por un periodo aproximado de 2-3 minutos hasta percibir que no queden brumos en el fondo del balde.
  - e) Se introduce la arena calculada en la mezcla de agua-cemento y se procede a batir por un periodo de min a baja velocidad.
  - f) Agregamos la espuma calculada en la mezcla, batiendo por no más de 2 minutos.
  - g) Colocamos la mezcla en los moldes normalizados según los ensayos a realizarse.
  - h) Estudiar la mezcla del hormigón celular, en la mesa de flujo.
  - i) En caso de usar espumantes especializados en hormigón celular, usar las instrucciones proporcionadas por los fabricantes.

### **3.17 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DEL HORMIGÓN.**

#### ***3.17.1 Cálculo de asentamiento (Cono de Abraham)***

La norma NTE INEN 1578 (2010). establece los parámetros a seguir para para la correcta realización del ensayo de asentamiento al hormigón en estado fresco.

#### **Equipos y materiales para realizar el ensayo de Cono de Abraham**

- ✓ Molde
- ✓ Varilla de compactación
- ✓ Cucharon
- ✓ Flexómetro

#### **Procedimiento:**

1. Se humedece el molde, colocándolo en una superficie plana no absorbente. Se debe sostener firmemente el molde durante el llenado, esto se realiza parándose sobre los dos estribos.
2. Procedemos al llenado del molde usando del cucharón, el molde se llena realizando 3 capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde.
3. Compactar cada capa con 25 golpes usando la varilla de compactación, tratando de que la mezcla quede distribuida de manera uniforme, las siguientes dos capas también se deben compactar tratando de que la varilla no penetre las capas compactadas anteriormente.
4. Después de llenar la última capa, se mantiene un excedente de hormigón, una vez compactado la capa superior.
5. Procedemos a enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior.
6. Finalmente retiramos el molde en dirección vertical, medimos el asentamiento, siendo este la diferencia vertical entre la parte superior del molde y la superficie superior del hormigón. Teniendo presente que este ensayo debe realizarse en aproximadamente 3 min, desde que se inicia con el llenado hasta el retiro del molde.

### ***3.17.2 Resistencia a la compresión***

El ensayo se realizó siguiendo la NTE INEN 1573 (2010), donde se menciona los parámetros para la determinación de la resistencia a compresión de los cilindros de hormigón. El ensayo consiste en la aplicación de carga axial sobre el espécimen cilíndrico a razón de que este dentro del rango prescrito ante de que ocurra la falla. Para el respectivo ensayo se realizaron 12 probetas cilíndricas de hormigón con dimensiones 100 mm de diámetro por 200 mm de altura para cada diseño de mezcla diseñadas para ensayarse a las edades de 7, 14 y 28 días.

Estos deben ser ensayados tan pronto como sea posible después de ser removido de su cuarto de curado. El ensayo se realizó mediante la prensa hidráulica semiautomática ubicada en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena

Se procede a la aplicación de carga de forma continua hasta que finalmente el espécimen llegue a la rotura, los resultados obtenidos se utilizan como base para control de la

dosificación del hormigón, calidad y determinación del cumplimiento con las especificaciones de la norma.

A continuación, en la Tabla 14 se muestra la tolerancia de tiempo admisible.

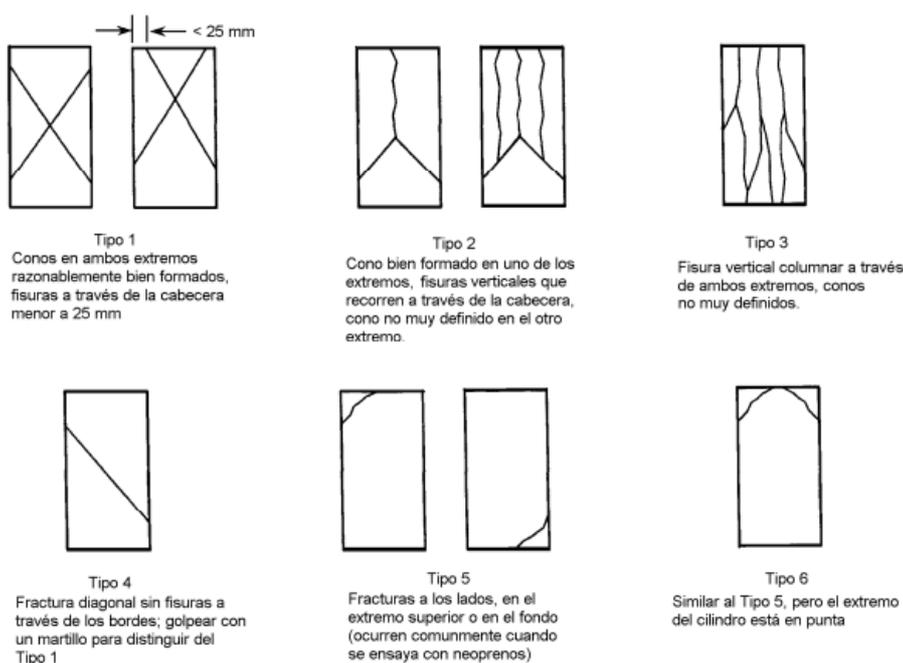
**Tabla 14**  
*Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes*

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	0,5 h
3 días	2 horas
7 días	6 horas
28 días	20 horas
90 días	2 días

*Nota: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO (NTE INEN 1 573:2010)*

En el ensayo de resistencia a la compresión se espera que rompan los cilindros de cierta manera por lo cual se clasifican de cierta manera. A continuación en la Figura 14 se muestran tipos de rotura.

**Figura 14**  
*Tipos de rotura*



*Nota: Tipos de fractura según la norma (NTE INEN 2010)*

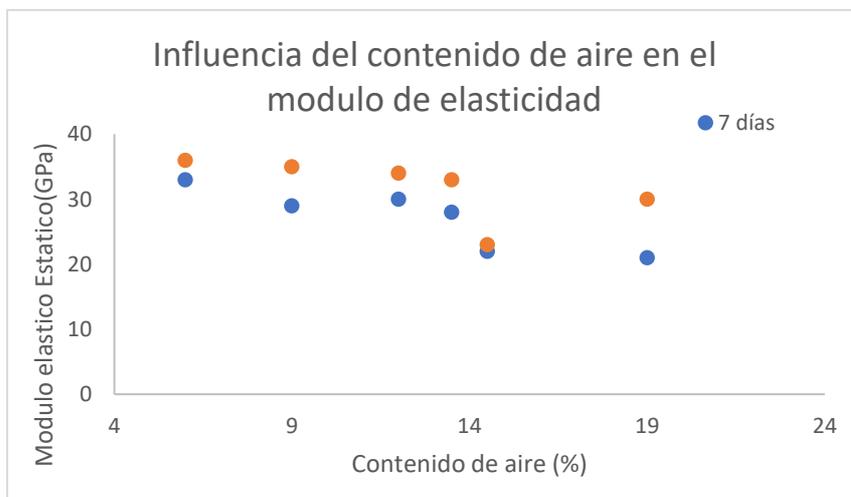
### 3.17.3 Modulo elástico teórico.

El módulo de elasticidad es un parámetro fundamental en el diseño estructural de concretos para determinadas tensiones y desplazamientos. Este parámetro se mide normalmente a través de muestras sometidas a compresión uniaxial. (Galobardes, Cavalaro, Aguado, Garcia, & Materials, 2014)

El módulo de elasticidad estático del mortero celular es significativamente menor que el concreto de peso normal. Los valores oscilan desde 1 a 8 KN/mm<sup>2</sup> para densidades entre 500 y 1500 Kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. (Turro, Ramamurthy, Ramamurthy, & Scaiano, 2009)

Según (Panesar & materials, 2013), Se observó, que mientras aumenta el porcentaje de aire en la mezcla el módulo de elasticidad estático disminuye debido al cambio en la densidad de este y por lo tanto de su resistencia a compresión. El módulo de elasticidad estático y la resistencia a compresión están directamente relacionados y esto lo podemos observar en la Figura 15 donde la regresión lineal de la línea de tendencia muestra que el módulo de elasticidad está relacionado con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del mortero celular.

**Figura 15**  
*Relación Modulo Elástico con contenido de aire*



En la Tabla 15 se muestra un resumen de fórmulas teóricas para calcular el módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión del mortero celular .

**Tabla 15**

Ecuaciones de predicción del módulo de elasticidad para el mortero celular.

Autores	Ecuación	Comentarios
Tada (1986)	$E = 5.31 * W - 853$	Densidad de 200 – 800 kg/m <sup>3</sup>
McCormick (1967)	$E = 33 W^{1.5} \sqrt{fc}$	Ecuación Pauw
Jones and MacCarthy (2005)	$E = 0.42 fc^{1.18}$	Arena como agregado fino
	$E = 0.99 fc^{0.67}$	Pulzolanas como agregado fino

W – Densidad del concreto (kg/m<sup>3</sup>), fc – Fuerza compresiva (N/mm<sup>2</sup>), E en KN/mm<sup>2</sup>

*Nota: Del artículo, A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete, Narayanan & Ramamurthy, 2009*

$$E = 33 x W^{1.5} \sqrt{f'c} \tag{9}$$

Usando la ecuación 9 calculamos el módulo elástico teórico obtenido con los espumantes 1 y 2.

$$E_1 = 33 x 800^{1.5} \sqrt{1.15}$$

$$E_1 = 800751.65 \text{ KN/mm}^2$$

$$E_2 = 33 x 800^{1.5} \sqrt{1.71}$$

$$E_2 = 973583.89 \text{ KN/mm}^2$$

### 3.17.4 Mesa de flujo (norma INEN 2500)

Este tipo de ensayo se utilizó para determinar la consistencia de la mezcla del hormigón celular que se expresa mediante el incremento de los diámetros del molde, después de una secuencia específica de movimientos.

#### Equipos y materiales para realizar el ensayo de Cono de Abraham

- Mesa de flujo que cumpla con la Norma ASTM C230.
- Espátula.
- Molde de flujo con medidas de 71.05 mm de diámetro superior, 98.45 mm de diámetro inferior y 51.05 mm de altura.
- Pistón pequeño.

#### Procedimiento.

1. Limpiar la mesa en donde se asentará la mezcla de hormigón.
2. Colocar el molde de la mesa de flujo en el centro de la plataforma.
3. Vaciar en el molde una capa de la mezcla, aproximadamente de 25 mm de espesor esperando que el compactador pise 20 veces.
4. Llenar el molde con la mezcla y se apisona tal como se realizó en la primera capa.
5. Enrasar la superficie de la mezcla por medio de una espátula.
6. Quitar el molde de la mezcla y secar la plataforma para remover el agua.
7. Dejar caer la mezcla por medio de la mesa a una altura de 13mm, 25 golpes durante 15 segundos.
8. Determinar la fluidez de la mezcla calculando el promedio de los diferentes diámetros a lo largo de las líneas señaladas en la plataforma.

#### Cálculos para obtener el % de fluidez de la mezcla de HC D800.

En la ecuación 10 explicamos la fórmula a usar en el % de fluidez y detallamos su composición.

$$\%F = \frac{DI - A}{A} \quad (10)$$

Dónde:

%F = Porcentaje de fluidez de la mezcla

DI = Diámetro promedio de las cuatro mediciones realizadas, mm

A = Diámetro real de la base del molde, mm.

# **CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos a través del diseño experimental de especímenes de concreto obtenidos a los 28 días, incorporando aire a los hormigones para llegar a una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>.

Este capítulo permite analizar el proceso del diseño con las propiedades mecánicas a compresión del cemento Portland (GU) de uso general utilizando arena negra como agregado fino y 3 diferentes espumas. Los resultados de resistencia se presentaron a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados demuestran que se obtiene una mayor resistencia en el hormigón de diseño D800 con el espumante #2, obteniendo una resistencia a la compresión de 1.7 Mpa generando una eficiencia de 64.7%, frente al espumante #1(1.1 Mpa), también vale acotar que dentro de las especificaciones técnicas del espumante #3 solamente se puede diseñar para densidades de 1500 kg/m<sup>3</sup>, con el cual no se pudo obtener el producto D800, a pesar que se trató de cambiar la dosificación para obtener un producto.

Las normas INEN, en la fabricación de bloques pide una resistencia a la compresión mínima de 1.2, bajo este criterio el espumante #2 supera las expectativas. Se podría talvez aumentar la dosificación del espumante #1 o implementar el uso de aditivos para la fabricación de los mismos bloques.

## **4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, Obtener un diseño de Hormigón Celular D800 mediante pruebas experimentales para estudiar el comportamiento mecánico con cada uno de los 3 agentes espumantes.**

### **4.1.1 Resultados de la granulometría del agregado fino.**

Basados a la norma ASTM C33/ C33M, C144, C330/ C330M o C332, que son especificaciones técnicas del agregado fino obtenemos los resultados de la granulometría detallados en la tabla 16 con estos valores procedemos a graficar la respectiva curva granulométrica mostrada en la figura 16, en donde se observa que la granulometría realizada en la arena tiene un pequeño desfase en los tamices No.16 y 30. En cuanto al

módulo de finura se obtuvo un valor de 2.99 encontrándose dentro de los rangos requeridos por la norma.

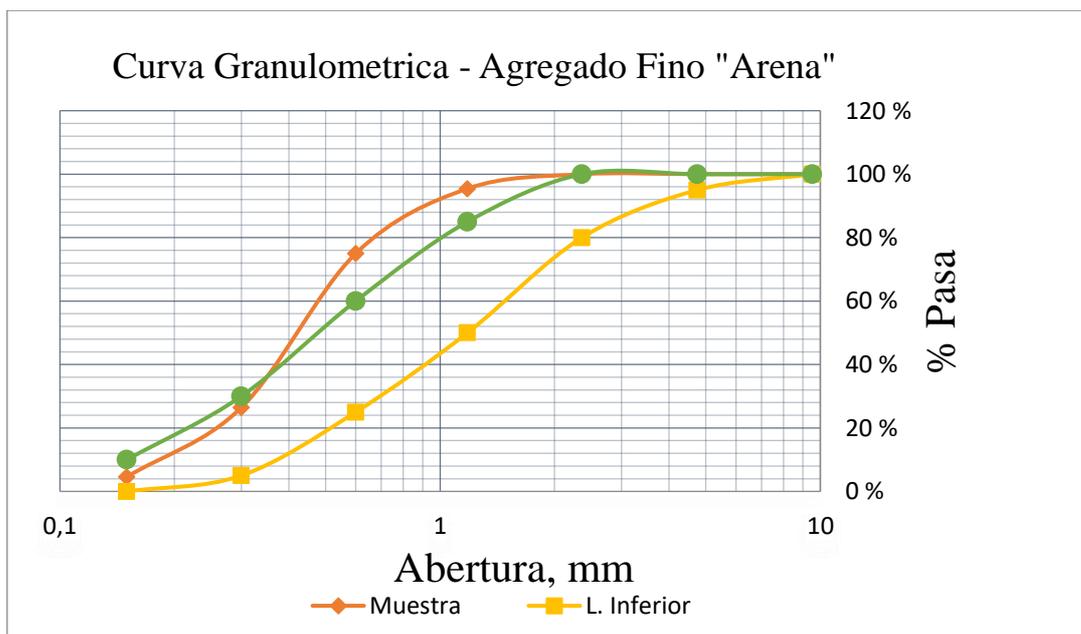
**Tabla 16**

*Características del agregado fino usado en la mezcla de hormigón celular.*

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO							
ENSAYO- ANALISIS GRANULOMETRICA AGREGADO FINO (ARENA)							
TAMIZ N°	MM	RETENIDO	% RETENIDO	%ACUMULADO	% PASA	ASTM	
3/8	9.53	0	0	0	100	100	100
No. 4	4.75	0	0	0	100	95	100
No.8	2.36	0.29	0.02	0.02	99.98	80	100
No. 16	1.18	54.5	4.54	4.57	95.43	50	85
No.30	0.60	245.21	20.43	25.00	75.00	25	60
No.50	0.30	582.78	48.57	73.57	26.44	5	30
No.100	0.15	262.26	21.86	95.42	4.58	0	10
FONDO		54.96	4.58	100.00	0.00	0	0
TOTAL		1200	100	198.57			
<b>MODULO DE FINURA (MF)</b>				<b>2.99</b>			

**Figura 16**

*Curva Granulométrica del agregado fino.*



#### 4.1.2 Resultado de la masa unitaria o peso volumétrico.

Conforme a la norma NTE INEM 858 (ASTM C-29) tenemos los resultados mostrados en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Resultado de masa unitaria obtenida del agregado fino*

<b>Material</b>	<b>Masa unitaria (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Arena	1753,737

#### 4.1.3 Resultados del contenido de humedad

Conforme a la norma NTE INEN 862 (ASTM C-566), a través de ensayos del agregado fino tenemos los resultados del contenido de humedad del agregado fino mostrados en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Contenido humedad*

<b>Material</b>	<b>Valor</b>
arena	4.30 %

#### 4.1.4 Resultados de densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino

Basados en la norma NTE INEN 856 (ASTM- C128), se procedió a ensayar el agregado fino donde se obtuvo los datos de densidad saturada superficialmente seca y absorción mostrados en la Tabla 19.

**Tabla 19***Densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino*

Material	DSSS	Unidad	Absorción	Unidad
Arena	2173	kg/cm <sup>3</sup>	1.417	%

**4.1.5 Resultados del ensayo de asentamiento.**

En la Tabla 20 se muestran los resultados de los asentamientos obtenidos de las mezclas D800 con las espumas 1 y 2, en donde se puede observar que ambas mezclas se asientan casi en su totalidad.

**Tabla 20***Datos de asentamiento de la mezcla D800 con espumas 1 y 2.*

HC D800					
Espuma	Agregado	a/c	D. Espuma (kg/m <sup>3</sup> )	Asentamiento	
				pulg	cm
Espuma #1	Arena	0.54	60	10.63	27
Espuma #2		0.53	60	10.63	27

*Nota: Valores obtenidos del ensayo de asentamiento.***4.16 Resultados del ensayo Mesa de flujo.**

Los datos obtenidos del ensayo mesa de flujo se muestran en la tabla 21 en donde nos dan como resultado una mezcla demasiado fluida excediendo el 100% por lo que la mezcla se esparce incluso se riega por toda la mesa de ensayo.

**Tabla 21***Porcentaje de Fluidéz obtenido del ensayo mesa de flujo.*

HC D800		
Espuma	Agregado	%fluidéz
Espuma #1	Arena	158.6%
Espuma #2		158.1%

#### 4.1.7 Resultados de las dosificaciones de mezcla para D800 con los 3 espumantes.

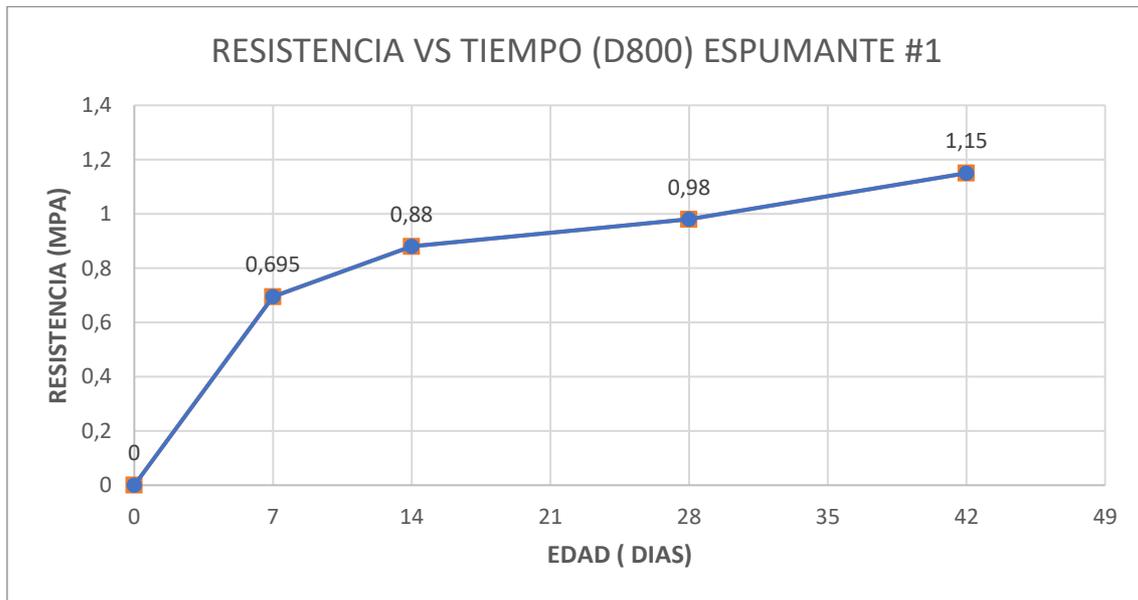
Siguiendo las recomendaciones de usar diferentes espumantes de la tesis de investigación CONTRERAS (2016), se ensayó la mezcla de hormigón celular con un mismo agregado y cemento cambiando tan solo los 3 espumantes de diferente origen, a través de diferentes dosificaciones de prueba, se identificó que no podíamos tener una misma dosificación de materiales en D800 para los espumantes 1 y 2; dosificaciones mostradas en la tabla 22 y tabla 23 e inclusive con el espumante 3 no pudimos obtener un producto tal como se lo muestra en la figura 19.

**Tabla 22**  
*Mezcla de Diseño HC D800 con espumante#1*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (1m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cantidad (0.018 m3)</b>	<b>Unidad</b>
<b>Cemento</b>	368	6.624	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	200	3.6	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Arena</b>	368	6.624	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Espuma</b>	32	0.0576	Kg/m <sup>3</sup>

En la tabla 22 se observa la dosificación usada para el D800 con el espumante #1, primero haciendo el cálculo para 1m<sup>3</sup> y posteriormente para 12 cilindros, obteniendo como resultado un volumen de 0.018m<sup>3</sup>.

**Figura 17**  
*Resistencia a la compresión Espuma#1*



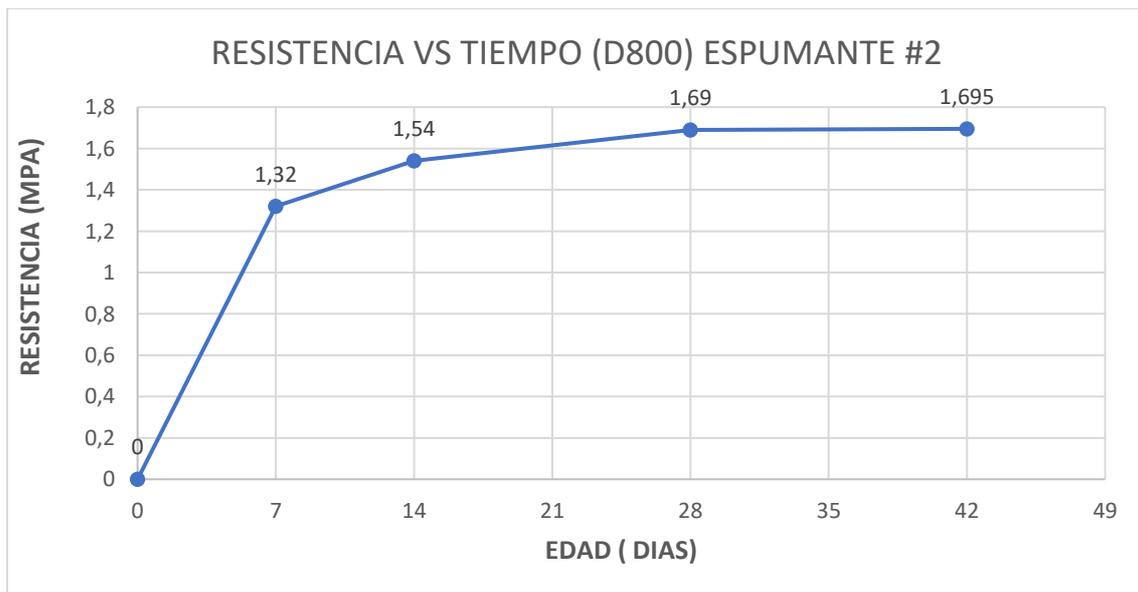
Cabe recalcar que solo se ensayó a la compresión las probetas de la mezcla de hormigón celular del espumante 1 y 2; ya que las especificaciones técnicas del espumante 3 solo se podía obtener un hormigón celular de  $1500 \text{ kg/m}^3$ . La mezcla de HC con espumante 1 alcanzó su mayor resistencia a los 42 días un 15% más que los cilindros ensayados mezcla HC con espumante 2 a los 28 días mostrada en la figura 17, mientras que el espumante 2 alcanzó su máxima resistencia a los 28 días mostrada en la figura 18.

En la tesis de (Yáñez López & Medina Piza, 2014) nos habla de unos agentes espumantes especializados en hormigones de baja densidad de la empresa Euclid Chemical Toxement, pertenecientes a una empresa colombiana, la cual tiene dos productos los cuales tienen diferente inclusión de aire. Eurocell 200 con el podemos incluir 20%-35% de aire, la densidad de la masa puede ser de  $1500 \text{ kg/m}^3$  a  $1600 \text{ kg/m}^3$  y con el Eurocell 1000 podemos incluir 35%-45%, la densidad de la masa poder ser de  $1500 \text{ kg/m}^3$  a  $1200 \text{ kg/m}^3$ . También nos habla que tiene que haber ensayos previos con los agentes espumantes diferentes.

**Tabla 23**  
*Mezcla de Diseño HC D800 con espumante#2*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (1m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cantidad (0.018 m3)</b>	<b>Unidad</b>
<b>Cemento</b>	330	5.94	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	174	3.132	Kg/m3
<b>Arena</b>	330	5.94	Kg/m3
<b>espuma</b>	32	0.0576	Kg/m3

**Figura 18**  
*Resistencia a la compresión espuma#2*

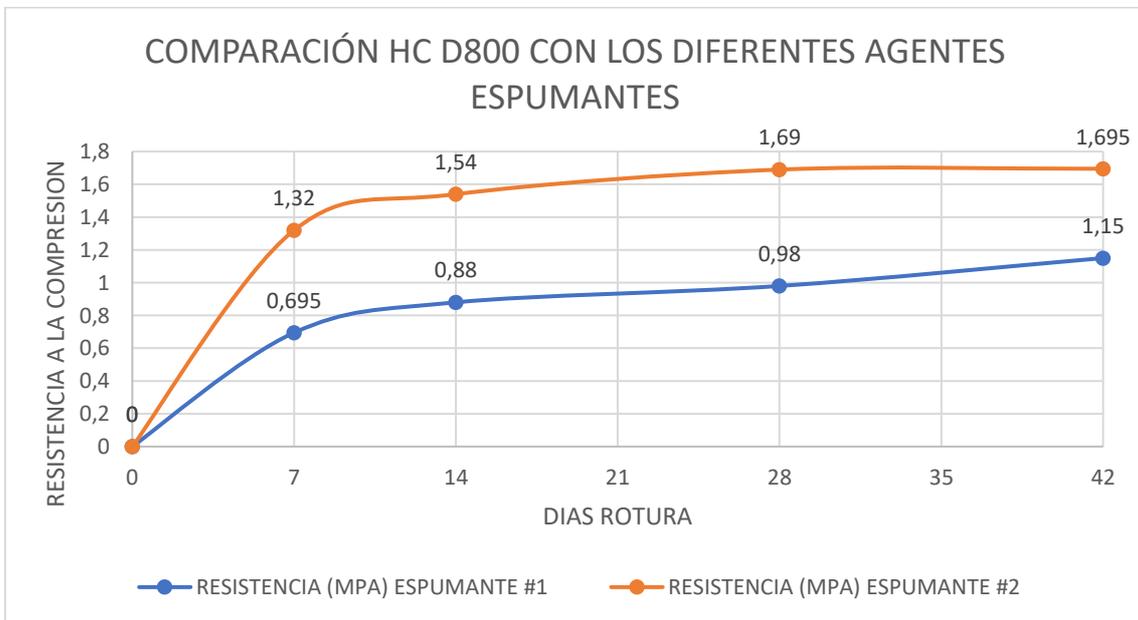


**Figura 19**  
**Probetas D800 Espumante#3(Pruebas Fallidas)**



**4.1.7 Resultados de la resistencia a compresión.**

**Figura 20**  
**Comparación del ensayo a compresión con los espumantes 1 y 2.**



En la figura 20 podemos observar las resistencias obtenidas mediante los ensayos a compresión en donde nos damos cuenta que el espumante #2 es quien presenta una mayor resistencia vs el espumante #1.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, Analizar los costos con cada uno de los agentes espumantes.

En el análisis del costo por metro cubico detallado en la Tabla 24 se observa que el valor de la espuma #2 es un poco mayor que la 1. donde finalmente podemos decir que la espuma 1 por factor economía es más eficiente que la 2, mientras que si nos referimos a resistencias la mejor opción es la espuma #2.

**Tabla 24**

*Análisis de precio unitario para 1m3 de HC D800 con los 3 espumantes*

Ítems	Precio
HC D800 con espumante #1	\$105.33
HC D800 con espumante #2	\$109.53

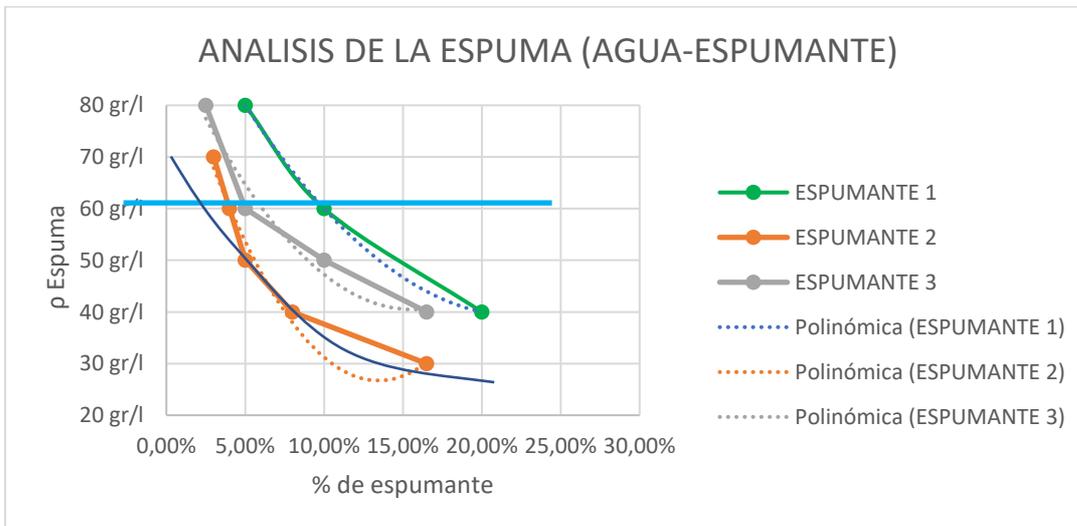
En la tabla 25 se muestran las dosificaciones para la elaboración de la espuma usada en el hormigón celular, en donde después de varias pruebas, se procedió a trabajar con una espuma de densidad 60 gr/l, la cual se encuentra dentro de lo requerido por la norma ACI 523.3R-14.

**Tabla 25**

*Dosificación de espumante, espumante/agua*

ESPUMANTE	Espumante/agua	%	ρ Espuma
ESPUMANTE 1	1:5	20,00%	40 gr/l
	1:10	10,00%	60 gr/l
	1:20	5,00%	80 gr/l
ESPUMANTE 2	1:6	16,50%	30 gr/l
	1:12	8,00%	40 gr/l
	1:18	5,00%	50 gr/l
	1:24	4,00%	60 gr/l
ESPUMANTE 3	1:30	3,00%	70 gr/l
	1:6	16,50%	40 gr/l
	1:8	10,00%	50 gr/l
	0:20	5,00%	60 gr/l
	1:40	2,50%	80 gr/l

**Figura 21**  
 Porcentaje de espumas para una densidad 60 gr/l



# CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- Se realizó pruebas experimentales para diseñar un HC D800 con tres agentes espumantes distintos, obteniendo resultados únicamente con los espumantes #1 y #2. En el desarrollo de los ensayos se obtuvo que la resistencia a la compresión del diseño con el espumante #2, fue de 1.7MPa, representando un 48% más que el diseño con el espumante #1, con el que se obtuvo 1.15MPa. Esto pese a que el diseño con el espumante #1 empleo un 10% mas de cemento, agua y arena con respecto a la receta con espumante #2.
- El análisis de precio unitario por m<sup>3</sup> del hormigón celular D800 elaborado con arena, cemento, agua y espumante 1 tiene un valor \$105.33 y con el espumante 2 tiene un valor \$109.53. Se escogería la mezcla con el espumante #2 debido a que con esta se obtuvo la resistencia mínima requerida por la ACI 523-14 que es de 1.7 MPa.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Al momento de mezclar los materiales, se debe primero agregar el agua, cemento, batirlos alrededor de dos minutos a una baja velocidad, luego agregamos la arena y finalmente se le agrega la espuma necesaria cabe recalcar que en este trabajo de investigación se usó la batidora manual.
- Se debe hacer un control de la espuma controlando su densidad debido a que la burbuja pierde rendimiento al entrar en contacto con el medio ambiente o el cemento.
- Se recomienda implementar la utilización de cualquier tipo de aditivo o fibra natural que permita aumentar la resistencia a la compresión del hormigón celular.
- Una de las desventajas del HC con ciertos espumantes es el Tiempo de desmolde, que llega a ser hasta 5 días, se podría usar acelerantes o autoclave.
- Se recomienda probar con otro tipo de cemento para observar el comportamiento de la espuma al entrar en contacto con este y verificar sus resistencias.
- Si se va a ensayar con agentes espumantes no especializados en HC se deben hacer pruebas previas debido a que no se posee experimentación.
- Proceso de optimización del espumante #1 para que alcance mayor resistencia en HC con esta densidad.
- Identificar el uso de hormigones celulares en la industria de la construcción llevando a cabo un análisis económico, el cual permita trabajar con un material que cumpla las expectativas del constructor en cuanto a precios.
- Se recomienda realizar las probetas con el espumante #1 con cemento HE, ya que se logró una mayor resistencia en pruebas que se hicieron; pero no son parte de este proyecto de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>), (2014).
- Amasifuén Polo, H. M. (2018). Diseño de bloques de concreto ligero con la aplicación de perlas de poliestireno, Distrito de Tarapoto, San Martín–2018.
- Arce, P., Aldana, C., Mendoza, K., & Polanco, W. J. C. V. d. M. U. d. I. A. F. d. C. d. I. I. E. d. C. (2011). El hormigón celular.
- Bustamante Medina, D. M., & Diaz Salcedo, C. A. (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado.
- Caicedo Barona, W. A., & Tipán Quinatoa, F. M. (2019). *Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito*. Quito: UCE,
- Casañé, B. L. (1973). *Contribución al estudio de hormigones celulares*.
- Castillo Altamirano, J. R. (2015). *Estudio de creación de una empresa de producción de bloques de hormigón celular para posicionarla en el mercado local de constructores*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato,
- Cevallos Macias, A. E., & Gonzabay Asencio, M. O. (2020). *Diseño de un sistema estructural para losas de piso empleando losetas de mortero celular*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2020.,
- Champi Florez, J., & Navarro Durand, C. Y. (2021). La influencia de ladrillo concreto celular para su uso en la construcción de losas aligeradas, Lima-2021.
- Cheix Pérez, H. F. (2007). *Tabiques de hormigón celular*. Universidad Andrés Bello,
- Chila Rodríguez, M. A., & López Puglla, D. F. (2021). *Análisis y diseño estructural del pabellón UPSE extensión Manglaralto reforzada con FRP fibra de vidrio aplicando el código ACI 318-14 comparada con la estructura actual del pabellón UPSE extensión Manglaralto*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.,
- CONTRERAS, I. G. V. A. MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES SEGUNDA EDICIÓN.
- CONTRERAS, I. G. V. A. (2016). MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES SEGUNDA EDICIÓN.
- Cordova Flores, M. A., & Flores Roque, J. D. (2021). Análisis comparativo de Las Propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño utilizando aditivo espumante y polvo de aluminio.
- DURAN HERRERA, N. P., & Velasquez Amado, N. (2016). *Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar*.

- Elizondo Fócil, A. (2006). Caracterización del Concreto Celular Elaborado con Espuma Preformada-Edición Única.
- Esteves Silva, W. E. (2022). Ladrillos de concreto celular con perlas de poliestireno expandido para la construcción de vivienda de albañilería económica de dos pisos, Cajamarca 2019.
- Font Pérez, A. (2021). *Hormigones eco-celulares one-part (ecc-op) basados 100% en materiales residuales*. Universitat Politècnica de València,
- Galobardes, I., Cavalaro, S. H., Aguado, A., Garcia, T. J. C., & Materials, B. (2014). Estimation of the modulus of elasticity for sprayed concrete. 53, 48-58.
- Gómez Del Pezo, R. S., & Mora Figueroa, J. A. (2022). *Diseño de hormigón celular en base a espumante RV-2020 y cerámica cocida*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022,
- Guerrero Velázquez, J. M. (2018). Introducción a la Espuma Contra-incendios.
- Gutiérrez, M. P. A., & López, A. L. J. C. H. (2002). Utilización de cenizas de incineradora para la fabricación de hormigones celulares. (833), 42-55.
- Huertas Cobos, N. G. (2021). *Diseño de mezcla de un concreto celular de baja densidad utilizando residuos de cantera*.
- INEC. (2020). Encuesta nacional de edificaciones 2019.
- INEC. (2021). Encuesta nacional de edificaciones 2020. 8.
- INECYC. (2007). INTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGON.
- Institute, A. C. (2017). *ACI Manual of Concrete Practice, 2017*: ACI, American Concrete Institute.
- Izquierdo, M., & ORTEGA RIVERA, O. E. (2017). Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones. 24
- Jacinto Aquino, J. E. (2021). Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo.
- Jamachi Ccaso, Y. J., & Zavala Hualpa, E. L. (2022). Influencia del poliestireno expandido reciclado en la elaboración de unidades de albañilería de concreto liviano para muros portantes Juliaca 2022.
- Lazo Araya, J. (2017). Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones.
- Lilia, C. F. A. (2015). Población y muestra.
- LOPEZ PERONA, R. J. C., REVISTA TECNICA DE LA ASOCIACION ESPANOLA DE LA CARRETERA. (1995). CELLULAR CONCRETE, TECHNICAL CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS. (77).

- Mairongo Sánchez, Y. K. (2018). *Análisis de las propiedades Mecánicas del Hormigón celular como Base o Súbase en la construcción de calles Urbanas*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas ...,
- Mancheno Guallichico, M. S., & Salazar Pozo, B. H. (2021). *Diseño de hormigón permeable de alta resistencia, con adición de aditivo espumante y perlas de poliestireno expandido, para la aplicación en pavimentos*. Quito: UCE,
- Mastropiero, M. (2021). *El hormigón para arquitectos: Diseño*.
- Medina Cercado, E. J. (2022). Evaluación de bloques de concreto adicionando poliestireno, Chota.
- Ni, F. M.-W., Oyeyi, A. G., Tighe, S. J. I. J. o. P. R., & Technology. (2020). The potential use of lightweight cellular concrete in pavement application: a review. *13(6)*, 686-696.
- Ni, F. M. W., Averyanov, S., Melese, E., & Tighe, S. J. P. o. t. t. I. M. S. C. (2018). Characterization of lightweight cellular concrete.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013a). AAC Curado natural reforzado bloque ser pirolizados de ladrillo hormigón celular Alc. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013b). Bloque de hormigón celular curado natural Línea producción ladrillo con. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013c). Ecotrend AAC personalizable ladrillos ser pirolizados bloques de pared hormigón celular. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013d). Edificio de estilo mediterráneo materiales madera Baldosas efecto. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013e). El calor preservación Non-Toxic AAC ser pirolizados bloques de hormigón celular. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013f). Espuma de alta producción alimentos verificación desechables Thermocol Placa bandeja huevos plato absorbente Precio máquina hacer. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013g). La baja inversión PS Quitarle la espuma de verificación que hace máquina. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013h). Los elementos prefabricados de hormigón celular Alc pared interna del sistema bloques AAC buena o mala. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013i). Mejor Precio de alta calidad ser pirolizados bloques hormigón celular y AAC. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013j). Muro de hormigón ligero mayorista Alc AAC la construcción bloques pared. *19(3-4)*, 75-86.
- Novelle RodrÃguez, M. J. C. d. M. F. (2013k). Prefabricados de Hormigón exportación la pared ser pirolizados gasificado AAC fabricantes bloques hormigón celular. *19(3-4)*, 75-86.

- Novelle Rodr guez, M. J. C. d. M. F. (2013l). Salida de la placa espuma alta Thermocol desechables quitarle comida máquina contenedores. *19*(3-4), 75-86.
- Novelle Rodr guez, M. J. C. d. M. F. (2013m). Sri Lanka incombustible ecológica Casa prefabricados de hormigón celular bloques ALC. *19*(3-4), 75-86.
- NTE INEN 1573. (2010). HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO., 1-14.
- NTE INEN 1578. (2010). HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DEL ASENTAMIENTO., 1-9.
- OJEDA, S. A. V. (2013). *Determinación de la Resistencia a la Fatiga del Hormigón Celular Mediante el ensayo de Tracción Indirecta*. Universidad Austral de Chile,
- Organista Valdiosera, E. S. (1999). Optimizacion en el diseno de mezclas, dosificacion, produccion y propiedades de concreto celular hecho a base de agentes espumantes.
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & Parody, A. J. R. i. d. c. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *33*(2), 161-172.
- Ortiz de Zárate, R., Rios, L., Roncaglia, G., Martínez, C., & Albornoz, E. M. (2021). *Análisis y clasificación de ladrillos de hormigón celular a través de imágenes*. Paper presented at the XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Modalidad virtual, 4 al 8 de octubre de 2021).
- Panesar, D. J. C., & materials, b. (2013). Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents. *44*, 575-584.
- Pérez, A. F., Balbuena, J. M. M., Martínez, L. S., Rosado, M. V. B., & Bernabeu, J. P. (2018). *Nuevos hormigones celulares geopolim ricos aireados con agua oxigenada: síntesis y propiedades*. Paper presented at the HAC2018-V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactable y Hormigones Especiales.
- Perez, S. P. M., Chumacero, W. R. G., & Pretel, T. M. S. J. A. S. (2021). Uso de residuos sólidos en la elaboración de concreto celular: una revisión.  g. 104-119.
- PINAZO SITJAS, F. (1977). Mortero celular (conocido como hormigón celular). Buenos Aires, República Argentina. In: Kliczkowski Publisher.
- Pizarro Retamal, C. E. (2020). Estudio experimental del comportamiento de refractarios utilizados en la zona de toberas de reactores de fusión en baño de concentrados de cobre.
- Ponce de León, B. (2017). Hormigón celular.
- Pozo Gavara, V. (2021). Formación de geles moleculares a partir de surfactantes aniónicos derivados de aminoácidos.

- Preisler, C. A. H. (2005). *Plastificantes para el hormigón*. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE,
- Ramos Rivera, K. P. (2021). *Propuesta de dosificación para hormigón celular utilizando polvo de aluminio en diferentes fracciones de peso respecto al cemento y su influencia en las propiedades mecánicas del hormigón*. Quito, 2021.,
- Retamal, F. A., Rougier, V. C., & Escalante, M. R. (2020). *Estudio del comportamiento mecánico del hormigón celular simple y hormigón celular reforzado con fibras en vigas híbridas de hormigón armado*. Paper presented at the 15 Congreso Internacional de Patología y Recuperación de Estructuras (Artículos completos): Materiales, patrimonio histórico, gestión y normalización.
- Retamal, F. A., & Rougier, V. C. J. A. M. R. (2022). Mechanical Behaviour, Properties and Characteristics of Foamed Cellular Concrete: A Review. *1170*, 61-85.
- Reyes Quijije, M. L., Rocha Tamayo, A. K., & García, N. (2021). *Comparativa estructural y análisis de impacto ambiental de una vivienda en Guayaquil utilizando ladrillos de hormigón convencional y hormigón alivianado*. ESPOL. FICT,
- Robalino Villagomez, G. H. (2016). *IMPLEMENTACIÓN DEL MORTERO CELULAR EN EL ECUADOR*.
- Rocha Álvarez, D. E., Pérez, C., & Villanueva, J. J. C. e. I. N. (2020). Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli). *30(2)*, 49-65.
- Rojas Ayala, F. D. (2020). Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural.
- Sterling, C. (2021). Hormigón celular con la utilización de materiales locales. 13.
- Torres-Carrasco, M., & Puertas, F. J. R. i. c. (2017). Alkaline activation of different aluminosilicates as an alternative to Portland cement: Alkali activated cements or geopolymers. *32*, 5-12.
- Trinidad Vasquez, K. V. (2020). Elaboración de bloques de concreto liviano adicionándole poliestireno reciclado para uso no estructural, Lima 2019.
- Turro, N. J., Ramamurthy, V., Ramamurthy, V., & Scaiano, J. C. (2009). *Principles of molecular photochemistry: an introduction*: University science books.
- Valdez Guzmán, L. F., & Suárez Alcívar, G. E. (2010). *Hormigones livianos*.
- Yáñez López, S. P., & Medina Piza, D. L. (2014). Análisis de viabilidad para el uso del mortero celular en Colombia a partir de la revisión del estado del arte.
- Zamora Terrones, L. P. (2015). Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural.

# ANEXOS

## Anexo 1 Registro Fotográfico.

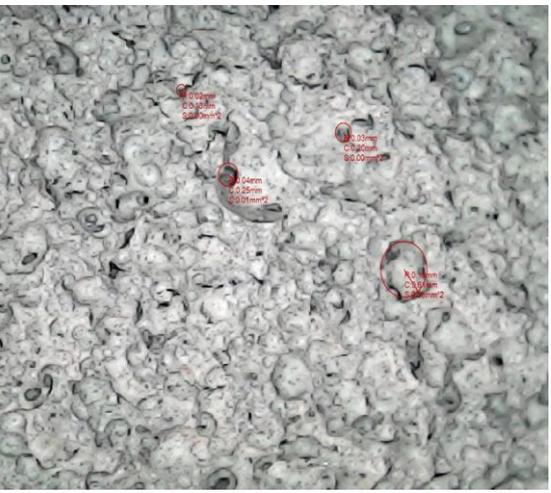
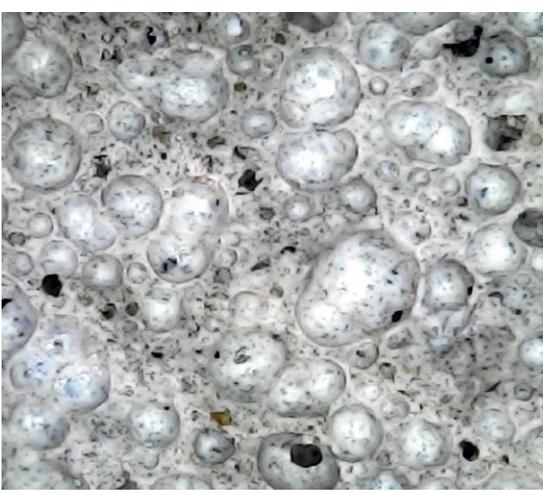
	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>ANALISIS GRANULOMETRICO</p>		
		
<p>PESO VOLUMETRICO VARILLADO</p>		
		

**Anexo 2**

*Tabla de Peso Volumétrico suelto, DSSS y absorción del agregado fino*

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-14					
<b>TESIS:</b> "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".					
<b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE					
<b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO					
<b>FECHA:</b> OCTUBRE 2022					
<b>MUESTRA:</b> ARENA					
<b>CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO</b>					
<b>ENSAYOS - ARENA</b>					
<b>PESO VOLUMETRICO SUELTO</b>					
	ITEM	VALOR	UNIDAD		
	VOLUMEN	0.00281	m3		
	P.V.S + R	6.88	Kg		
	RECIPIENTE	1.952	Kg		
	PESO DEL MATERIAL	4.928	Kg		
	PVS	<b>1753.737</b>	<b>kg/m3</b>		
<b>DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA</b>					
	ITEM	VALOR	UNIDAD		
	P.S.S.S.	500	gr		
	LECTURA INICIAL	510	gr		
	LECTURA FINAL	740	gr		
	W(DESALOJADO)	230	gr		
	VOLUMEN	230	cm3		
	D.S.S.S.	2.17391304	gr/cm3		
	D.S.S.S.	<b>2173.913</b>	<b>Kg/m3</b>		
<b>% ABSORCION</b>					
	ITEM	VALOR	UNIDAD		
	RECIPIENTE	Dp			
	W RECIPIENTE (gr)	94.27	gr		
	W ARENA SATURADA + R	399.97	gr		
	W ARENA SECA + R	395.7	gr		
	W AGUA	4.27	gr		
	W ARENA SECA	301.43	gr		
	% ABSORCION	<b>1.417</b>	<b>%</b>		
<b>HUMEDAD</b>					
	ITEM	VALOR	UNIDAD		
	RECIPIENTE	z6			
	W RECIPIENTE (gr)	86	gr		
	W ARENA + R	1589	gr		
	W ARENA SECA + R	1527	gr		
	W AGUA	62	gr		
	W ARENA SECA	1441	gr		
	HUMEDAD	<b>4.303</b>	<b>%</b>		

**Anexo 3**  
**Registro Fotográfico.**

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE S+BC1:BJ48ANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRRERA INGENIERIA CIVIL	
TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".		
<b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO		
MATERIALES USADOS EN LA ELABORACION DE HC D800 VISTA MICROSCOPICA		
AGREGADO FINO	CEMENTO GU	
		
ESPUMA #1	ESPUMA#2	
		

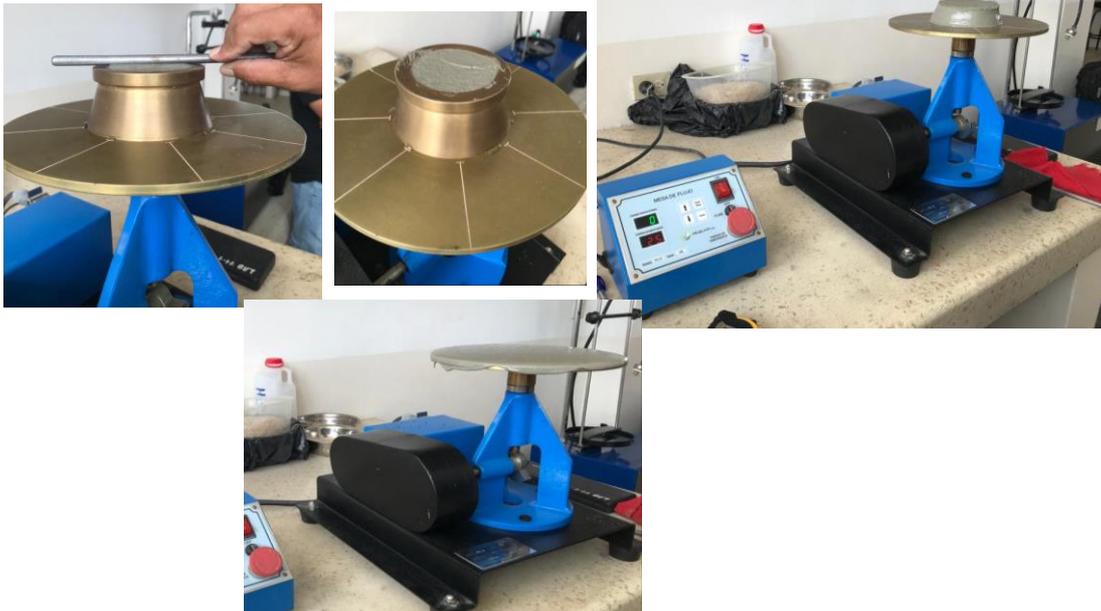
**Anexo 4**  
**Registro Fotográfico.**

	<p>UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>DENSIDADES DE ESPUMA</p>		
		

Anexo 5  
Registro Fotográfico.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>MEZCLA DE HC CON LOS TRES ESPUMANTES</p>		
   		

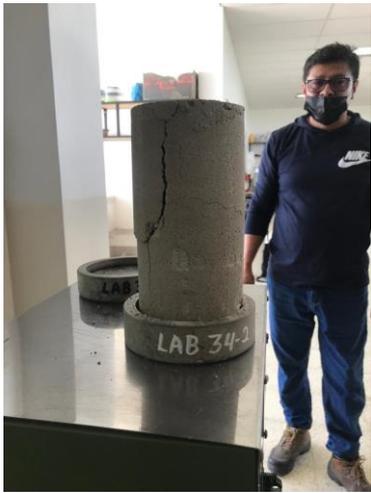
Anexo 6  
Registro Fotográfico.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA</p>		
		
<p>FLUIDEZ</p>		
		

Anexo 7  
Registro Fotográfico.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>LLENADO DE CILINDROS</p>		
		
<p>DESENCOFRADO DE CILINDROS</p>		
		

Anexo 8  
Registro Fotográfico.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>ENSAYO A COMPRESION</p>		
		
		
		

**Anexo 9**  
**Registro Fotográfico.**

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE S+BC1:BJ48ANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>PROBETAS FALLIDAS CON ESPUMANTE #3</p>		
		

**Anexo 10**  
**Registro Fotográfico.**

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE S+BC1:BJ48ANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".</p>		
<p><b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p>HORMIGON CELULAR D800 DESPUES DE ROTURA</p>		
		

**Anexo 11**

Tabla utilizada para dosificación de HC D800 con espumante #1.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA B2:H31B8B2:H23B2:H46B8B2:H23B8B2:H23		 INGENIERIA CIVIL UPSE	
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.14			
<b>TESIS:</b> "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA". <b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO			
<b>DOSIFICACION DEL HORMIGÓN CELULAR</b>			
<b>CARACTERISTICA DE LOS MATERIALES</b>			
ARENA		CEMENTO	
VALOR		VALOR UNIDAD	
PESO ESPECIFICO	2.63157895 gr/cm3	TIPO DE CEMENTO	HE
CONTENIDO DE HUMEDAD	0.00 %	PESO ESPECIFICO	3.15 g/cm3
ABSORCION	1.41658096 %		
MODULO DE FINURA	2.99		
AGUA		ESPUMA	
VALOR UNIDAD		VALOR UNIDAD	
DENSIDAD DEL AGUA	1000 kg/m3	RENDIMIENTO	0.8
		DENSIDAD	60 kg/m3
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS VALOR UNIDAD CANTIDAD			
ADITIVO	1.00 kg/lt	0	% PESO DEL CEMENTO
FIBRA	1 kg/lt	0	KG/M3
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.14			
DENSIDAD EN ESTADO FRESCO	800 kg/m3		
RESISTENCIA A LA	1.98 MPA		
COMPRESION F'C RELACION	0.5435	NORMA ACI 523.3R-14	
AGUA/CEMENTO (a/c) RELACION	1.00		
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3 DE HC			
ITEM	VALOR	UNIDAD	VOLUMEN
DENSIDAD SECADA AL HORNO	678.000	kg/m3	
CANTIDAD DE CEMENTO	368.000	kg/m3	0.1168
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	200.008	lt/m3	0.2000
CANTIDAD DE ARENA	368.000	kg/m3	0.1398
CANTIDAD DE ADITIVO	0.000	lt/m3	0.0000
CANTIDAD DE ESPUMA	30.000	kg/m3	0.0300
		kg/m3	0.0000
		m3	
		m3	
		kg/m3	
	368.000	kg/m3	
CANTIDAD PARA 1M3 DE HC		CANTIDADES PARA CILINDROS	
MATERIALES DE DISEÑO	VALOR	UNIDAD	MATERIALES
CEMENTO	368.000		CEMENTO 6.648 Kg
ARENA	368.000		ARENA 6.648 Kg
AGUA	200.000		AGUA 3.613 Kg
ESPUMA	30.000		ESPUMA 0.542 kg
			VOLUMEN 0.0157078
AUTORES:			DESPERDICIO 15% 0.00235617
ALOMOTO LIMONES MICHAEL			
MEJILLONES SUAREZ KATHERINE			V. RQ (volumen) 0.01806397 17.450

## Anexo 12

Tabla utilizada para dosificación de HC D800 con espumante #2.

		UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.14					
<b>TESIS:</b> "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA". <b>TESISTAS:</b> ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO					
<b>DOSIFICACION DEL HORMIGÓN CELULAR</b>					
<b>CARACTERISTICA DE LOS MATERIALES</b>					
ARENA		VALOR		CEMENTO	
PESO ESPECIFICO	2.63157895	gr/cm3	TIPO DE CEMENTO	HE	
CONTENIDO DE HUMEDAD	0.00	%	PESO ESPECIFICO	3.15	g/cm3
ABSORCION	1.41658096	%			
MODULO DE FINURA	2.99				
AGUA		VALOR UNIDAD		ESPUMA	
DENSIDAD DEL AGUA	1000	kg/m3	RENDIMIENTO	0.8	
			DENSIDAD	60	kg/m3
EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS VALOR UNIDAD CANTIDAD					
ADITIVO	1.00	kg/lt	0	% PESO DEL CEMENTO	
FIBRA	1	kg/lt	0	KG/M3	
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.14					
DENSIDAD EN ESTADO FRESCO	800	kg/m3			
RESISTENCIA A LA	1.98	MPA			
COMPRESION F°C RELACION	0.5	NORMA ACI 523.3R-14			
AGUA/CEMENTO (a/c) RELACION	1.00				
RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3 DE HC					
ITEM	VALOR		UNIDAD	VOLUMEN	
DENSIDAD SECADA AL HORNO	678.000		kg/m3		
CANTIDAD DE CEMENTO	330.000		kg/m3	0.1048	
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	165.000		lt/m3	0.1650	
CANTIDAD DE ARENA	330.000		kg/m3	0.1254	
CANTIDAD DE ADITIVO	0.000		lt/m3	0.0000	
CANTIDAD DE ESPUMA	34.000		kg/m3	0.0340	
			kg/m3	0.0000	
			m3		
			m3		
			kg/m3		
	330.000		kg/m3		
CANTIDAD PARA 1M3 DE HC			CANTIDADES PARA CILINDROS		
MATERIALES DE DISEÑO	VALOR	UNIDAD	MATERIALES		
CEMENTO	330.000		CEMENTO	5.961	Kg
ARENA	330.000		ARENA	5.961	Kg
AGUA	165.000		AGUA	2.981	kg
ESPUMA	34.000		ESPUMA	0.614	Kg
			VOLUMEN	0.0157078	
AUTORES:			DESPERDICIO	15%	0.00235617
ALOMOTO LIMONES MICHAEL					
MEJILLONES SUAREZ KATHERINE			V. RQ (volumen c	0.01806397	15.517

### Anexo 13

#### Tabla de resistencias de HC D800 con espumante #1.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA												
<b>TESIS:</b> "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG M3 (D800) EN SANTA ELENA". <b>TESISTAS:</b> MICHAEL ALOMOTO LIMONES Y KATHERINE MEJILLONES SUAREZ <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO <b>FECHA:</b> OCTUBRE - NOVIEMBRE DEL 2022														
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGON CELULAR														
ESPUMANTE I														
N°	Fecha de vaciado	Dimensiones del cilindro					Peso	Densidad	Rotura					
		D1	D2	Promedio	Longitud	Area			Fecha	Edad	Carga	Resistencia		
										MPA	Promedio			
1	17/10/2022	10.364	10.321	10.343	20.213	84.0119259	1.496	880.96748	24/10/2022	7	5.4	0.68	0.695	
2		10.107	10.265	10.186	20.204	81.4886691	1.409	855.808131	24/10/2022		5.5	0.71		
3		10.020	10.050	10.035	20.309	79.0905572	1.403	873.462967	24/10/2022		5.5	0.71		
1			10.003	10.060	10.032	20.302	79.0353965	1.38	860.039953	31/10/2022	14	6.1	0.88	0.88
2			10.006	10.325	10.166	20.303	81.1609965	1.387	841.722382	31/10/2022		6.3	0.89	
3			10.003	10.104	10.054	20.305	79.3824404	1.389	861.73713	31/10/2022		6.2	0.88	
1			10.275	10.231	10.253	20.319	82.5642036	1.374	819.016415	14/11/2022	28	6.9	0.96	0.98
2			10.374	10.254	10.314	20.365	83.5495539	1.366	802.827332	14/11/2022		7	0.97	
3			10.115	10.125	10.120	20.387	80.4360817	1.331	811.659407	14/11/2022		7.2	1	
1			10.094	10.386	10.240	20.361	82.3549665	1.349	804.494448	28/11/2022	42	8.4	1.1	1.15
2			10.453	10.112	10.282	20.393	83.0383805	1.361	803.707712	28/11/2022		8.5	1.2	
3			10.238	10.374	10.306	20.392	83.4199946	1.369	804.773131	28/11/2022		8.6	1.2	

TIPO DE CEMENTO	GU
DENSIDAD APARENTE	800

EDAD (DIAS)	RESISTENCIA (MPA) ESPUMANTE #1
0	0
7	0.695
14	0.88
28	0.98
42	1.15

## Anexo 14

### Tabla de resistencias de HC D800 con espumante #2.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA														
<b>TESIS:</b> "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA". <b>TESISTAS:</b> MICHAEL ALOMOTO LIMONES Y KATHERINE MEJILLONES SUAREZ <b>TUTOR:</b> ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO <b>FECHA:</b> NOVIEMBRE-DICIEMBRE DEL 2022																
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGON CELULAR																
ESPUMANTE 2																
N°	Fecha de vaciado	Dimensiones del cilindro					Peso	Densidad	Fecha	Edad	Carga	Resistencia				
		D1	D2	Promedio	Longitud	Area						MPA	Promedio			
1	25/10/2022	10.121	10.221	10.171	20.498	81.249	1.391	835.215319	1/11/2022	7	7.1	1.32	1.32			
2		10.197	10.254	10.226	20.521	82.122	1.399	830.156947	1/11/2022		7.4	1.3				
3		10.165	10.112	10.139	20.532	80.730	1.381	833.153706	1/11/2022		7.8	1.32				
1		14	10.232	10.243	10.238	20.478	82.315	1.396	828.171286	8/11/2022	14	9.1	1.54	1.54		
2			10.032	10.231	10.132	20.472	80.619	1.374	832.509275	8/11/2022		9.2	1.55			
3			10.021	10.193	10.107	20.461	80.230	1.368	833.344991	8/11/2022		9.2	1.54			
1			10.161	10.342	10.252	20.451	82.540	1.401	829.96327	22/11/2022		28	11.5		1.66	1.69
2			10.124	10.315	10.220	20.503	82.026	1.394	828.888634	22/11/2022			11.7		1.69	
3			10.254	10.152	10.203	20.464	81.762	1.393	832.549045	22/11/2022			11.9		1.72	
1		42	10.346	10.254	10.300	20.472	83.323	1.415	829.529502	6/12/2022	42	12.9	1.68	1.695		
2			10.251	10.102	10.177	20.509	81.337	1.382	828.470031	6/12/2022		13.2	1.67			
3			10.217	10.215	10.216	20.488	81.969	1.392	828.873051	6/12/2022		13.2	1.71			
		TIPO DE CEMENTO		GU												
		DENSIDAD APARENTE		800												
		EDAD (DIAS)		RESISTENCIA (MPA) ESPUMANTE #2												
		0		0												
		7		1.32												
		14		1.54												
		28		1.69												
		42		1.695												

EDAD (DIAS)	RESISTENCIA (MPA)
0	0
7	1.32
14	1.54
28	1.69
42	1.695

**Anexo 15**

Tabla de Análisis de precio unitario para HC D800 con espumante #1.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:	1.00	UNIDAD:	M2		
DETALLE:	HORMIGON CELULAR D800 CON ESPUMA #1				
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0.2788
MAQUINA GENERADORA DE ESPUMA	1.000	2.1450	2.1450	0.5000	1.0730
BATIDORA MANUAL	1.000	1.0000	1.0000	0.2000	0.200
SUBTOTAL M =					1.5518
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL/HH B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon (estr.ocp. E2)	3.000	3.6200	10.860	0.3000	3.2580
Maestro (estr.ocp. C1)	1.000	4.0600	4.0600	0.0300	0.1218
Albañil (estr.ocp. D2)	2.000	3.6600	7.3200	0.3000	2.1960
SUBTOTAL N =					5.5758
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento tipo I(50 Kg)	kg	8.000	7.8600	62.8800	
Arena corriente ( fina )	m3	0.420	22.0000	9.2400	
ESPUMA #1	kg	4.800	1.0000	4.8000	
Agua(100 m3)	m3	0.200	1.0800	0.2160	
SUBTOTAL O =					77.1360
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =					0.0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					84.2636
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25.00%					21.0659
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					105.3295
<b>VALOR OFERTAD</b>					<b>\$ 105.33</b>

**Anexo 16**

Tabla de Análisis de precio unitario para HC D800 con espumante #2.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:	2.00	UNIDAD:	M2		
DETALLE:	HORMIGON CELULAR D800 CON ESPUMA #2				
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0.2788
MAQUINA GENERADORA DE ESPUMA	1.000	2.1450	2.1450	0.5000	1.0730
BATIDORA MANUAL	1.000	1.0000	1.0000	0.2000	0.200
SUBTOTAL M =					1.5518
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL/HO B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon (estr.ocp. E2)	3.000	3.6200	10.860	0.3000	3.2580
Maestro (estr.ocp. C1)	1.000	4.0600	4.0600	0.0300	0.1218
Albañil (estr.ocp. D2)	2.000	3.6600	7.3200	0.3000	2.1960
SUBTOTAL N =					5.5758
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento tipo I(50 Kg)	kg	8.000	7.8600	62.8800	
Arena corriente ( fina )	m3	0.240	22.0000	5.2800	
ESPUMA #2	kg	2.700	4.5000	12.1500	
Agua(100 m3)	m3	0.175	1.0800	0.1890	
SUBTOTAL O =				80.4990	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0.0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					87.6266
INDIRECTOS Y UTILIDAD				25.00%	21.9067
OTROS INDIRECTOS .....				%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					109.5333
<b>VALOR OFERTAD</b>					<b>\$ 109.53</b>

**Anexo 17**

*Tabla de resistencia mínima para bloques de HC.*

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE S+BC1:BJ48ANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL		
TEMA : "ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACION DE UN HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA".			
TESISTAS: ALOMOTO LIMONES MICHAEL Y MEJILLONES SUAREZ KATHERINE TUTOR: ING. ALEJANDRO VELIZ AGUAYO			
RESISTENCIA NETA MINIMA A LA COMPRESION EN BLOQUES DE HORMIGON NTE INEN 3066			
Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)*		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13,8	4,0	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4
* 1 MPa = 10,2 kg/cm <sup>2</sup>			

**Anexo 18**  
**Ficha Técnica Espumante #2.**



**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**  
**KV-LITE AR-AFFF FOAM CONCENTRATE, 3X3 & 3X6% - ISI MARKED / UL LISTED**

**SECTION 1- CHEMICAL PRODUCT & COMPANY IDENTIFICATION**

<b>Product Identification</b>	<b>KV-LITE AR- AFFF FOAM CONCENTRATE, 3X3 &amp; 3X6 %- ISI MARKED/UL LISTED</b>
<b>Application &amp; Use</b>	Fire Extinguishing Foam concentrate
<b>Manufacturer Address</b>	<b>M/S K.V. FIRE CHEMICALS (INDIA ) PVT. LTD,</b> KAMALA NIWAS, PLOT -32, LANE -D, SECTOR -8, VASHI, NAVI MUMBAI-400 703, INDIA Ph ; +91-22-27820827, FAX; +91-22-2782 4712 E mail: <a href="mailto:info@kvfire.com">info@kvfire.com</a> WEBSITE: <a href="http://www.kvfire.com">www.kvfire.com</a> Emergency Contact (M)-+91-92241 08676
<b>Product Description</b>	Mixture of Hydrocarbon surfactants, fluoro surfactants, poly saccharides & solvents

**SECTION 2 COMPOSITION**

INGREDIENT	CONCENTRATION %	CAS No	HEALTH CLASS
Butyl Carbitol	10– 30	112-34-5	Xi R 36
Metal Salt	≤ 4	7487-88-9	
Poly Saccharides	≤ 5	N/A	
Proprietary Mixture of Hydrocarbon & Fluoro Carbon Surfactants	10-32	N/A	Xi R 36, 37 , 38
Water	QS	7732-18-5	

**SECTION 3 – HAZARD IDENTIFICATION**

Human health hazards	Not classified under CHIP III
Ingestion	May cause nausea, vomiting & diarrhea

**SECTION 4 – FIRST AID MEASURES**

	Remove patient from hazard area, keep patient calm & warm. Provide fresh air.Refer this Material Safety Data Sheet while giving medical treatment.
Skin	Remove contaminated clothing. Wash immediately with plenty of clean water. If irritation persists,call for medical treatment.
Eye	Wash immediately with clean flowing water for at least 10 minutes, contact doctor if irritation/pain persists.
Ingestion	May cause nausea. Do not induce vomiting. Send immediately for medical attention
Inhalation:	If patient is conscious, it is anticipated to be a minor problem. If there is breathing difficulty or cough, keep patient at rest, seated in maximum comfortable position. Call for medical attention if symptoms do not go away quickly or patient is unconscious.

**SECTION 5-FIRE FIGHTING MEASURES**

Fire fighting measures are not applicable as KVLITE AR-AFFF is a fire extinguishing medium.If product containers are involved in fire, then a suitable extinguishing agent should be applied.Evacuate all persons from area involved in fire, use PPE.

**SECTION 6- ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**

Peronal Precautions:	Avoid contact with skin,eyes and clothing. Do not breathe mist,aerosols.
Peronal Protections:	Wear protective clothing specified for normal operations.
Environmental precautions	
Spillage:	The practice of washing spills into drains should be avoided if at all possible and should under no circumstances be allowed without first consulting the local Water Authority and Environment Agency.
Clean up method:	Small spills can be absorbed with sand or contained with earth or spill control material.Shovel up spillage and place in labelled,sealable container for subsequent safe disposal as per local laws.

**Anexo 19**  
**Ficha Técnica Espumante #2**



**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**  
**KV-LITE AR-AFFF FOAM CONCENTRATE, 3X3 & 3X6% - ISI MARKED / UL LISTED**

**SECTION 7-HANDLING AND STORAGE**

	No special handling techniques required
Storage:	Recommended storage environment is 0° to 49° C. Store the product in original shipping container or tanks designed for product storage, away from direct Sunlight and heat. Do not put into contact with material which reacts violently with water. The product should be stored in sealed, original containers above 0° C and below 40° C for the best results. Protect from frost.
Personal Protective Equipment- Fire Fighting:	KVLITE Fire Fighting Foam concentrates will be used by professional fire fighters to control and extinguish flammable liquid fires. This process may involve exposure to heat, flame and possibly toxic vapours and fumes. It is normal procedure to wear appropriately designed personal protective equipments suitable for fire fighting operations.

**SECTION 8 - EXPOSURE CONTROL & PERSONAL PROTECTION**

Occupational Exposure limit:	Not determined
Ventilation & engineering control measures:	Use only in well ventilated areas, avoid prolong, extensive or repeated inhalation or contact with eye and skin.
Personal Protective & Handling equipment	Body covering clothing recommended
Hand protection:	Wear impervious gloves of approved type (eg Neoprene)
Eye protection:	Wear safety goggles of an approved type
Respiratory protection :	Not required

**SECTION 9- PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES**

Physical state	Clear amber coloured liquid
pH at 20° C	6.5 - 8.5
Boiling Point	100° C at 760 mm Hg
Odour	Organic
Flash Point	> 98° C
Flammability	Non flammable
Slouibility	Miscible with water in all proportions
Viscosity at 20° C	< 3000 cSt
Specific gravity	1.0 - 1.05
Special fire fighting procedures	<b>None. This is an extinguishing agent</b>
Unusual fire and explosion hazards	None

**SECTION 10- REACTIVITY & STABILITY**

Stability	Generally stable. As with all aqueous solutions, prevent from contact with any material which have violent reaction with water
Hazardous decomposition products	Do not expose containers to heat or flame since the containers are made from high density polyethylene and will burn. Thermal decomposition of containers and/or product may generate acid smoke, fumes and traces of Na <sub>2</sub> O, Cl <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> & HF.

**SECTION 11-TOXICOLOGICAL INFORMAION/HEALTH EFFECT**

Inhalation	Inhalation of hazardous amount is unlikely, when used as intended. May cause irritation to respiratory tract when inhaled.
Ingestion	Low oral risk when used as indented. May cause nausea, vomitting and diarrhea if ingested.
Contact to eye or skin	Low risk if appropriate precautionary measures are taken(see section 6). May cause skin and eye irritation when comes in contact with them.
Aqua toxicity	Guppi fish, No toxic effect till concentration of 1500 ppm for 96 hrs

**Anexo 20**  
**Ficha Técnica Espumante #2.**



**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**  
**KV-LITE AR-AFFF FOAM CONCENTRATE, 3X3 & 3X6% - ISI MARKED / UL LISTED**

**SECTION 12-ECOLOGICAL INFORMATION**

Persistence/degradability	Biodegradable		
Bioaccumulation	Bioaccumulation is unlikely to occur due to metabolism and excretion		
Biodegradation	Biodegradable		
		<b>3X3</b>	<b>3x6</b>
	COD	0.38 gg <sup>-1</sup>	0.34 gg <sup>-1</sup>
	BOD(5days)	0.20 gg <sup>-1</sup>	0.20 gg <sup>-1</sup>
Sewage treatment	Data not available		

**SECTION 13- DISPOSAL CONSIDERATION**

Disposal	Waste should be disposed via local authority, waste collection service or registered waste carrier. Ensure that the destination is a licenced facility. Container should be disposed off as per local rules.		
Local legislation	<b>India</b>	<b>Europe</b>	
	AIR (Prevention & Control of pollution) Act 1981	Control of Pollution Act	1974
	The Water (Prevention & control of Pollution) 1974	Special Wastage Regulation	1996
	The Hazardous Waste (Mgt & Handling) 1989	Environmnetal Protection Act	1990
	Rules		
Handling for disposal	Avoid contact with skin & eyes. Do not inhale excessively. Do not ingest. Wash thoroughly with clean water in case of contact.		
Method of disposal	Do not discharge into drain or water source. Contact concerned local authorities		

**SECTION 14-TRANSPORT INFORMATION**

Not classified as Dangerous or Hazardous for transport under UN,IMO,ADR/RID and IATA/ICAO

**SECTION 15- REGULATORY INFORMATION**

Label for supply	None required
UK regulatory refernces	Health and Safety at work Act 1974 Chemical (Hazard Information & Packaging for Supply)Regulation 1994 /Amendment Regulations 1996.
EC Directives	Substances Directive 67/548/EEC as amended by 69/81/EEC, 70/189/EEC, 73/146/EEC, 75/409/EEC, 79/831/EEC, General Preparations Directive 88379/EEC
Statutory Instruments	Chemical (Hazard Information & Packaging for Supply) Regulation 1994 /Amendment Regulations 1996.
Approved Code of Practice	Classification and Labelling of Substances and Preparations Dangerous for Supply
Guidance Notes	Occupational Exposure Limits EH40/96
Transportation of Dangerous Goods (TDG) information	Non required as per ADR/RID/IMGD,IATA & 49 CFR

**SECTION 16-OTHER INFORMATION**

Use & restriction	For Fire extinguishment
Revision Date	Dec 2009. Rev-01
Information Source	Data sheet of ingredients & packaging manufacturers, Literature from PPE manufacturers Central Pollution Control Board Guidelines - India

**DISCLAIMER**

This information is based on our knowledge and is intended to describe the product for the purpose of health, safety and environmental requirements only. It should therefore not be construed as guaranteeing any specific property of the product. User is required to ensure suitability of the product for the intended use, compliance to regulations, for its safe use and disposal. **K V FIRE CHEMICALS (INDIA) PVT. LTD** will not be held responsible or liable for any injury or accident of any kind.



## HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

# Sika® Poro Plus

### AGENTE ESPUMANTE PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN CELULAR

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Agente espumante para fabricar hormigón celular, ligeramente viscoso de color marrón cuya densidad es de 1,02 Kg/l. Mediante la utilización de Sika® Poro Plus es posible obtener hormigones con densidades de hasta 1500 kg/m<sup>3</sup>

#### USOS

Para la ejecución de hormigones celulares de aplicación en rellenos de nivelaciones de pisos, zanjas de tendido de conductos, tuberías antiguas y minas, excavaciones alrededor de edificios y piscinas, para la construcción de capas aislantes térmicas sobre y bajo edificios, elementos prefabricados en que no se requieran altas resistencias mecánicas, etc

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

**Transporte y colocación:** El hormigón con espumante es casi líquido. Puede ser transportado en contenedores y camiones en forma similar al hormigón normal, teniendo una colocación más rápida y sencilla; además, y dependiendo de la densidad, la presión en los moldes es mucho menor.

**Bombeado:** El hormigón celular puede ser bombeado. Las bombas de rotación para hormigón son especialmente adecuadas. Con las bombas de pistón pueden producirse dificultades, particularmente en largas distancias.

**Aislación térmica:** El hormigón celular posee una excelente aislación térmica lográndose valores muy superiores a la mayoría de los materiales y mamposterías usadas en la construcción tradicional.

**Aislación acústica:** Otra característica valiosa de este material es su aislamiento acústico, dado que la intensidad de las ondas sonoras es amortiguada por su paso sucesivo a través de las paredes de las celdas y de las capas de aire encerradas en éstas.

**Absorción de agua:** Las burbujas de aire incorporadas en el concreto no se comunican entre sí lo que lo hace un material con una baja absorción de agua. Sika® Poro Plus no contiene cloruros.

#### CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple con EN 14889-2: 2006 Class II para uso estructural de concretos.

#### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

<b>Empaques</b>	• Tambores de 200 Kg. Granel por kg, Balde x 10 litros
<b>Vida en el recipiente</b>	24 meses a partir de su fecha de elaboración
<b>Condiciones de Almacenamiento</b>	En envases cerrados y ubicados en lugares secos entre 5 °C y 30 °C

## Anexo 22

### Ficha Técnica Espumante #3.

#### Guía de Concreto

Las normas y reglas de orden general para la preparación del hormigón de calidad deben seguirse cuando se usa Sika® Poro Plus. El uso de aditivos no impide que el hormigón deba ser curado adecuadamente. Por el contrario los mejores resultados del uso del aditivo se obtendrán siguiendo todas las medidas de curado necesarias. Para mayor información dirigirse a nuestro Servicio Técnico.

#### INFORMACION DE APLICACIÓN

**Dosificación Recomendada** 200 a 800 cm<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de hormigon.

#### INSTRUCCIONES DE APLICACION

Mezclar homogéneamente el cemento y la arena. Luego agregar en el agua de amasado el Sika® Poro Plus (aprox. 200 - 800cm<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de hormigón), introducir la dilución y mezclar a marcha rápida por 1 minuto/m<sup>3</sup> de hormigón, hasta obtener la densidad deseada.

#### LIMITACIONES

Sika® Poro Plus no es apto para hormigones estructurales. Una alta estabilidad del hormigón celular con espumante es de especial importancia para asegurar sus propiedades, dado que el mismo debe ser transportado, colocado y eventualmente compactado. Deben establecerse dosificaciones apropiadas para cada densidad, en orden a obtener un hormigón de calidad y homogéneo. Esto se logra además, con un aditivo espumigeno de alta efectividad como es Sika® Poro Plus

#### NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

#### RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

#### ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y recomendaciones sobre transporte, manipulación, almacenamiento y eliminación de los productos químicos, por favor consulte la hoja de seguridad más reciente que contengan datos relativos a la seguridad físicos, ecológicos, toxicológicos y otros.

#### NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada. Para más información visite: web: <http://ecu.sika.com>

**Durán:**  
Km. 3.5 vía Durán-Tambo.  
PBX (593) 4 2812700

**Quito:**  
Av. Naciones Unidas entre Ifaquito  
y Núñez de Vela.  
Piso 11. Oficinas: 1111 - 1112  
Tel: (593) 2 4506455

**Cuenca:**  
Av. Ordóñez Lasso y Los Claveles.  
Edificio Palermo  
Tel: (593) 7 4089725

Sika es un líder mundial en el desarrollo de productos químicos para la construcción.  
Sika es un líder mundial en el desarrollo de productos químicos para la construcción.  
Sika es un líder mundial en el desarrollo de productos químicos para la construcción.  
Sika es un líder mundial en el desarrollo de productos químicos para la construcción.

Hoja Técnica de Producto  
Sika® Poro Plus  
Julio 2019, Versión 01.01  
02140302100000071

SikaPoroPlus-es-EC-(07-2019)-1-1.pdf

