



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

“ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE  
HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON  
DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA  
PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS*  
*SAPONARIA*)”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR (ES):**

CRUZ RICARDO RONALD ROLANDO

ANRANGO SANCHEZ CARLOS SANTIAGO

**TUTOR:**

ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISOSTOMO, PhD

La Libertad, Ecuador

2023

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

“ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE  
HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON  
DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA  
PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS  
SAPONARIA*)”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

CRUZ RICARDO RONALD ROLANDO

ANRANGO SANCHEZ CARLOS SANTIAGO

**TUTOR:**

ING. VELIZ AGUAYO ALEJENDRO CRISOSTOMO, PhD

La Libertad – Ecuador

2023

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

**Ing. JONNY VILLAGO BORBOR,**  
MSc.  
DIRECTOR DE CARRERA



---

**Ing. ALEJANDRO VELIZ**  
AGUAYO, MSc, PhD  
DOCENTE TUTOR



---

**Ing. RICHARD RAMIREZ, Mg**  
DOCENTE ESPECIALISTA



---

**Ing. LUCRÉCIA CRISTINA**  
MORENO ALCIVAR, PhD  
DOCENTE UIC

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabado de investigación a todo el que creyó en mí, en especial a mi madre, la Sra. Hermosinda Ricardo, a mi hermana la Sra. Mariuxi Ramos, también a mi abuela que desde el cielo sé que me dio las fuerzas y sabiduría para culminar con este largo proceso.*

***Cruz Ricardo Ronald***

*Dedico esta tesis principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta. A mis padres por motivarme a seguir hacia adelante. De igual manera a mis hermanos por brindarme su apoyo moral.*

***Anrango Sánchez Carlos***

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISOSTOMO, MS.c, Ph.D

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACION**

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS SAPONARIA*)” elaborado por los estudiantes CRUZ RICARDO RONALD ROLANDO y ANRANGO SANCHEZ CARLOS SANTIAGO, 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 **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 4% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente.



Ing. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO, PhD .

C.I: 0908182280



# “ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIA)”

4%  
Similitudes



< 1% Texto entre comillas  
0% similitudes entre comillas  
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TESIS CRUZ R - ANRANGO C.docx  
ID del documento: 024ea0a591ae01526721217f8bc8d7ce1d38491b  
Tamaño del documento original: 82.81 kB  
Autores: Ronald Cruz Ricardo, Carlos Anrango Sánchez

Depositante: Ronald Cruz Ricardo  
Fecha de depósito: 14/7/2023  
Tipo de carga: url\_submission  
fecha de fin de análisis: 14/7/2023

Número de palabras: 14.307  
Número de caracteres: 91.030

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Estudio del hormigón celular <a href="#">/var/dspace/bitstream/15000/6841/3/CD-5165.pdf.txt</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (106 palabras)
2	<b>bidigital.epn.edu.ec</b> <a href="http://bidigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6841/1/CD-5165.pdf">http://bidigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6841/1/CD-5165.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (90 palabras)
3	<b>repository.javeriana.edu.co</b> <a href="https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16798/YanezLopezShirleyPaola2014.pdf?similarity=100">https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16798/YanezLopezShirleyPaola2014.pdf?similarity=100</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (74 palabras)
4	<b>localhost</b>   IMPLEMENTACIÓN DEL MORTERO CELULAR EN EL ECUADOR <a href="http://localhost:8080/xmlui/bitstream/123456789/478/3/Tesis%20Implementaci%C3%B3n%20del%20mortero%20celular%20en%20el%20Ecuador.pdf">http://localhost:8080/xmlui/bitstream/123456789/478/3/Tesis Implementación del mortero celular en ...</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (65 palabras)
5	<b>repositorio.upse.edu.ec</b>   Diseño de hormigón celular en base a espumante RV-2020... <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6942/1/UPSE-TIC-2022-0006.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6942/1/UPSE-TIC-2022-0006.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (67 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>dspace.uca.edu.ec</b>   Concreto celular para uso estructural <a href="http://dspace.uca.edu.ec/bitstream/123456789/25669/3/Tesis.pdf.txt">http://dspace.uca.edu.ec/bitstream/123456789/25669/3/Tesis.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (30 palabras)
2	<b>localhost</b>   Diseño de un sistema de control de la calidad para la planta dosificadora... <a href="http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/54676/3/BING-Q-ISE-21P51.pdf.txt">http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/54676/3/BING-Q-ISE-21P51.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (20 palabras)
3	<b>todosloshechos.es</b>   ¿Cómo se calcula el módulo de finura del agregado grueso? <a href="https://todosloshechos.es/como-se-calcula-el-modulo-de-finura-del-agregado-grueso#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20finura%20del%20agregado%20grueso">https://todosloshechos.es/como-se-calcula-el-modulo-de-finura-del-agregado-grueso#:~:text=El módu...</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)
4	<b>hdl.handle.net</b>   Hormigones de altas prestaciones <a href="http://hdl.handle.net/10317/70">http://hdl.handle.net/10317/70</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (12 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #c43b9e El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (10 palabras)

**Fuente ignorada** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9219/4/UPSE-TIC-2023-0012.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9219/4/UPSE-TIC-2023-0012.pdf</a>	4%		Palabras idénticas : 4% (628 palabras)

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, CRUZ RICARDO RONALD ROLANDO y ANRANGO SANCHEZ CARLOS SANTIAGO, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS SAPONARIA*)”, 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,



Cruz Ricardo Ronald Rolando

Autor de Tesis

C.I: 0928558857



Anrango Sánchez Carlos Santiago

Autor de Tesis

C.I: 1004519045

# 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 PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS SAPONARIA*)”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por los Srs. CRUZ RICARDO RONALD ROLANDO y ANRANGO SANCHEZ CARLOS SANTIAGO, 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. Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD

TUTOR

# CERTIFICACIÓN GRAMATOLÓGICO

*Certificación de Gramatólogo*

**Lic. MARIANA NOEMI MEDINA  
SUAREZ**

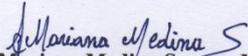
*Magíster En Diseño Y Evaluación  
De Modelos Educativos*

La Libertad, julio 8 del 2023.

## Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de **INGENIERO CIVIL** de: **CRUZ RICARDO RONALD & ANRANGO SANCHEZ CARLOS SANTIAGO**, cuyo tema es: **“ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFE, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS SAPONARIA*)”**, 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. Mariana Medina Suarez, MSc.**  
Docente de Español A: Literatura  
Cel: 0986380800  
e-mail: marianoem1@hotmail.com

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi madre por el apoyo que siempre estuvo dispuesta a brindarme, por el esfuerzo que hizo para ver a su hijo convertido en un Ingeniero Civil, a mis hermanos por motivarme a concluir con la meta que un día me propuse alcanzar. De igual manera a todos mis amigos que estuvieron desde el inicio apoyándome y brindándome su ayuda para alcanzar este objetivo, especialmente a la Lcda. Zully Tomalá que no solo fue quien me motivó, sino que también me abrió las puertas de su casa para cumplir con las tareas asignadas durante la carrera.

A mis amigos y futuros colegas, Jonnathan A, Evelyn R, Gary R, Douglas L y Belén V, que no solo me dieron la confianza, sino que también la seguridad que poder culminar con éxito este trabajo de investigación.

A los Ingenieros, Alejandro Véliz y Lissette Barzola por el apoyo moral y conocimiento brindado para realizar con éxito este trabajo que me fue encomendado.

***CRUZ RICARDO RONALD***

En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta estas instancias de mi vida, de la misma manera agradezco a mis padres por siempre ser ese pilar fundamental en mis estudios y por lo que representan para mí.

Agradezco a esas amistades que de una u otra manera fueron parte de este proceso por el cual estoy en la etapa final de la carrera, a mis hermanos por su apoyo constante.

A los docentes que semestre a semestre supieron enseñarnos lo necesario para en el futuro ser unos excelentes profesionales. A mi compañero de tesis, Ronald Cruz por apoyarme en la elaboración de este trabajo de investigación.

***ANRANGO SÁNCHEZ CARLOS***

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>CONTRAPORTADA</b> .....	i
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO</b> .....	v
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	vii
<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</b> .....	viii
<b>CERTIFICACIÓN GRAMATOLOGICO</b> .....	ix
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	x
<b>CONTENIDO</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xvii
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	xix
<b>RESUMEN</b> .....	xxi
<b>ABSTRACT</b> .....	xxii
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	3
<b>1.2. ANTECEDENTES</b> .....	4
<b>1.3. HIPÓTESIS</b> .....	8
<b>1.3.1. Hipótesis General.</b> .....	8
<b>1.3.2. Hipótesis Específicos.</b> .....	8

<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	9
<b>1.4.1. Objetivo General.</b> .....	9
<b>1.4.2. Objetivos Específicos.</b> .....	9
<b>1.5. ALCANCE</b> .....	9
<b>1.6. VARIABLES</b> .....	10
<b>1.6.1. Variables Independientes.</b> .....	10
<b>1.6.2. Variables Dependientes.</b> .....	10
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>2.1. HORMIGÓN</b> .....	11
<b>2.2. HORMIGÓN LIVIANO</b> .....	11
<b>2.2.1. Clasificación de hormigón liviano.</b> .....	12
<b>2.3. HORMIGÓN CELULAR</b> .....	13
<b>2.4. METODOS PARA LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR</b> .....	14
<b>2.4.1. Hormigón celular con inclusión de burbujas.</b> .....	15
<b>2.4.1.1. Hormigón celular por desprendimiento.</b> .....	15
<b>2.4.1.2. Hormigón celular en base de espuma.</b> .....	16
<b>2.4.2. Hormigón celular con áridos livianos.</b> .....	16
<b>2.5. VENTAJAS DEL HORMIGON CELULAR</b> .....	16
<b>2.6. DESVENTAJAS DEL HORMIGON CELULAR</b> .....	17
<b>2.7. APLICACIONES Y USO DEL HORMIGÓN CELULAR</b> .....	18
<b>2.7.1.1. Aislamiento térmico.</b> .....	18
<b>2.7.1.2. Protección contra el fuego.</b> .....	19
<b>2.7.1.3. Propiedades acústicas.</b> .....	19
<b>2.7.1.4. Durabilidad</b> .....	19
<b>2.8. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES</b> .....	20

2.8.1. Cemento.....	20
2.8.2. Árido.....	21
2.8.3. Agua.....	22
2.8.4. Espumante.....	22
2.9. EQUIPO PARA LA FABRICACIÓN DE ESPUMA .....	23
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	26
3.1.1. Tipo.....	26
3.1.2. Nivel.....	26
3.2. METODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	26
3.2.1. Método.....	26
3.2.2. Enfoque.....	27
3.2.3. Diseño.....	27
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....	27
3.3.1. Población.....	28
3.3.2. Muestra.....	28
3.3.3. Muestreo.....	29
3.4. METODOLOGIA DEL O.E1.: Realizar la caracterización de materiales empleados para la mezcla del hormigón, a través de fichas técnicas y ensayos realizados en el laboratorio que permitan conocer su comportamiento.....	30
3.4.1. Cemento Chimborazo tipo HE (Industrial).....	30
3.4.1.1. Algunas características distintivas del cemento Chimborazo HE incluyen.	30
3.4.2. Agua.....	31

3.4.2.1.	Algunas características de esta agua pueden incluir.....	32
3.4.3.	Espumante.....	33
3.4.3.1.	Dosificación del espumante (Sapindus saponaria).....	39
3.4.4.	Obtención de árido fino.....	42
3.4.4.1.	Granulometría del agregado fino.....	42
3.4.4.2.	Contenido de humedad según la norma NTE INEN 862 (ASTM C-566).	45
3.4.4.3.	Densidad saturada superficialmente seca y absorción del agregado fino según norma NTE INEN 856 (ASTM C -128).....	46
3.2.	<b>METODOLOGIA DEL O.E2.: Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> utilizando diferentes agentes espumantes para realizar probetas y ensayarlas en el laboratorio.</b> .....	49
3.2.1.	<b>Diseño de la mezcla de hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> con diferentes agentes espumantes.</b> .....	49
3.2.2.	<b>Propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón.</b> .....	52
3.2.2.1.	Cálculo de asentamiento (Cono de Abraham).....	52
3.2.2.2.	Mesa de flujo norma (INEN 2500).....	53
3.2.2.3.	Elaboración de cilindros de hormigón. ....	54
3.2.2.4.	Módulo de elasticidad teórico. ....	56
3.2.2.5.	Resistencia a la compresión.....	57
3.3.	<b>METODOLOGIA DEL O.E3.: Ejecutar un análisis comparativo de los resultados del comportamiento físico-mecánico de las probetas mediante cuadros estadísticos que permitan seleccionar la mezcla con mejores propiedades según la norma ACI 523.1R-06 para evaluar los costos de producción de esta.</b> .....	59
3.4.	<b>OPERACIÓN DE VARIABLES</b> .....	60
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....		61
4.1.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, Realizar la caracterización de materiales empleados para la mezcla del hormigón, a través de fichas técnicas y ensayos realizados en el laboratorio que permitan conocer su comportamiento.</b> .....	62

4.1.1. Resultados de la granulometría del agregado fino.....	62
4.1.2. Resultados del peso volumétrico.....	63
4.1.3. Resultados de densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino.....	63
4.1.4. Resultados del ensayo de Mesa de Flujo.....	64
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m <sup>3</sup> utilizando diferentes agentes espumantes para realizar probetas y ensayarlas en el laboratorio.	65
4.2.1. Resultados de las dosificaciones de mezcla para D400 con los diferentes espumantes.....	65
4.2.2. Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas.	72
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.3, Ejecutar un análisis comparativo de los resultados del comportamiento físico-mecánico de las probetas mediante cuadros estadísticos que permitan seleccionar la mezcla con mejores propiedades según la norma ACI 523.1R-06 para evaluar los costos de producción de esta. ....	73
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	75
5.1. CONCLUSIONES .....	75
5.2. RECOMENDACIONES .....	77
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	78
<b>ANEXOS</b> .....	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Hormigón Celular</i> .....	14
<b>Figura 2</b> <i>Clasificación de los diferentes tipos de moléculas surfactantes</i> .....	23
<b>Figura 3</b> <i>Maquina generadora de espuma usada para la elaboración del hormigón celular</i> .....	24
<b>Figura 4</b> <i>Elementos que componen la elaboración de espuma</i> .....	25
<b>Figura 5</b> <i>Cemento Chimborazo Tipo HE Industrial (fig. a: presentación del cemento, fig. b: control de calidad)</i> .....	31
<b>Figura 6</b> <i>Empresa Pública Municipal Mancomunada</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Figura a: Agente espumante RV 20000-2, figura b: vista microscópica</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Figura a: KV-LITE Espumante#2, figura b: vista microscópica</i> .....	36
<b>Figura 9</b> <i>fig. a: Sika Poro Plus, fig. b: vista microscópica</i> .....	37
<b>Figura 10</b> <i>Elaboración del líquido espumante</i> .....	41
<b>Figura 11</b> <i>Duración de la espuma después de 24 horas</i> .....	41
<b>Figura 12</b> <i>Ensayo granulométrico del agregado fino (fig. a: peso de agregado fino, fig. b: tamización del agregado)</i> .....	44
<b>Figura 13</b> <i>Ensayo de humedad</i> .....	46
<b>Figura 14</b> <i>Ensayo de densidad superficialmente saturada seca y absorción</i> .....	48
<b>Figura 15</b> <i>Tipos de rotura</i> .....	59
<b>Figura 16</b> <i>Curva granulométrica del agregado fino</i> .....	63
<b>Figura 17</b> <i>Resistencia a la compresión KV-LITE</i> .....	66
<b>Figura 18</b> <i>Resistencia a la compresión RV 2000-2</i> .....	67
<b>Figura 19</b> <i>Muestra de probetas fallidas con Sika Poro Plus</i> .....	68

<b>Figura 20</b> <i>Resultados de la comprensión de las probetas del espumante KV-LITE AFFF</i> .....	70
<b>Figura 21</b> <i>Resultados de la comprensión de las probetas del espumante RV 2000-2.....</i>	71
<b>Figura 22</b> <i>Resultados de probetas en base al espumante Sika Poro Plus.....</i>	72
<b>Figura 23</b> <i>Comparación de resultados con agregado fino y solo cemento del espumante RV 2000-2 y KV Lite AFFF .....</i>	73

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clase de concreto ligero .....	13
<b>Tabla 2</b> Clasificación del Cemento Portland.....	21
<b>Tabla 3</b> Datos técnicos de RV 2000-2 espumante #1 .....	34
<b>Tabla 4</b> Componentes del RV 2000-2.....	34
<b>Tabla 5</b> Datos técnicos del KV-LITE AFFF Espumante #2 .....	35
<b>Tabla 6</b> Componentes del KV-LITE AFFF.....	35
<b>Tabla 7</b> Datos técnicos del Sika Poro Plus espumante #3 .....	37
<b>Tabla 8</b> Compuestos del Sika Poro Plus .....	37
<b>Tabla 9</b> Datos técnicos del espumante en base al Jaboncillo ( <i>Sapindus Saponaria</i> ) .....	38
<b>Tabla 10</b> Componentes del Jaboncillo ( <i>Sapindus Saponaria</i> ) .....	38
<b>Tabla 11</b> Especificaciones técnicas del agregado fino según las normas ASTM C3/C33M, C144, C33/C330M o C332 .....	42
<b>Tabla 12</b> Valores estimados para la fabricación del hormigón celular.....	50
<b>Tabla 13</b> Diseño para hormigón celular D400.....	51
<b>Tabla 14</b> Dosificación para D400 sugerida.....	51
<b>Tabla 15</b> Ecuaciones de predicción del módulo de elasticidad teórico para mortero celular .....	57
<b>Tabla 16</b> Tiempo de tolerancia admisible para ensayar las probetas .....	58
<b>Tabla 17</b> Cuadro de operación de variables.....	60
<b>Tabla 18</b> Caracterización del agregado fino determinado para fabricación del hormigón celular .....	62
<b>Tabla 19</b> Resultados de Peso Volumétrico del agregado fino .....	63

<b>Tabla 20</b> <i>Densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino</i> .....	64
<b>Tabla 21</b> <i>Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Masa de Flujo (arena)</i> .....	64
<b>Tabla 22</b> <i>Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Masa de Flujo (cemento)</i> .....	64
<b>Tabla 23</b> <i>Mezcla de Diseño del hormigón celular 400 kg/m<sup>3</sup> con KV-LITE AFFF</i> .....	65
<b>Tabla 24</b> <i>Mezcla de Diseño del hormigón celular 400 kg/m<sup>3</sup> con KV-LITE AFFF</i> .....	66
<b>Tabla 25</b> <i>Mezcla De Diseño para cemento celular de 400 Kg/m<sup>3</sup> con espumante KV-LITE AFFF-Jaboncillo</i> .....	69
<b>Tabla 26</b> <i>Mezcla De Diseño para cemento celular de 400 Kg/m<sup>3</sup> con espumante RV 2000-2 - Jaboncillo</i> .....	71
<b>Tabla 27</b> <i>Análisis de precio unitario para 1m<sup>3</sup> de cemento celular de 400 kg/m<sup>3</sup> con los 2 espumantes con resultados positivo</i> .....	74
<b>Tabla 28</b> <i>Analisis FODA</i> .....	76

**“ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTE LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 Y JABONCILLO (*SAPINDUS SAPONARIA*)”**

**Autor:** Cruz Ricardo Ronald Rolando y  
Anrango Sánchez Carlos Santiago

**Tutor:** Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo fabricar un hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> que cumpla con las disposiciones establecidas en la norma ACI 523.1R-06 mediante resultados experimentales utilizando 4 tipos de espumante. Luego se analizó su comportamiento, se sugirieron posibles usos y se ofreció una guía para su elaboración. Una de las principales ventajas del hormigón celular es su baja densidad, lo que permite reducir la carga muerta y obtener elementos no estructurales. Dado que no existe una normativa estandarizada en Ecuador para la fabricación de este tipo de hormigones, se utilizó como referencia un artículo científico, el cual determina que para densidades de 200 a 700 kg/m<sup>3</sup>. En su elaboración se mezclan primero el cemento y el agua, y posteriormente se añade un agente químico o una espuma estable preparada, la cual debe ser bien mezclada con la pasta de cemento para lograr la consistencia celular. Después de analizar el proceso de elaboración del hormigón celular, se observó que los valores experimentales diferían de los valores teóricos, por lo que se presenta una curva de ajuste con respecto al aditivo espumante.

**PALABRAS CLAVE:** Densidad, espumante, resistencia, hormigón celular.

**"COMPARATIVE STUDY FOR THE MANUFACTURE OF CELLULAR CONCRETE OF DENSITY 400 KG/M<sup>3</sup> WITH DIFFERENT SPARKLING LIQUIDS KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV2000-2 AND SOAP (SAPINDUS SAPONARIA)"**

**Authors:** Cruz Ricardo Ronald Rolando and  
Anrango Sánchez Carlos Santiago

**Tutor:** Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD

## **ABSTRACT**

The present research aimed to produce cellular concrete with a density of 400 kg/m<sup>3</sup> that complies with the provisions established in the ACI 523.1R-06 standard through experimental results using four types of foaming agents. The behavior of the concrete was then analyzed, possible uses were suggested, and a guide for its production was provided. One of the main advantages of cellular concrete is its low density, which allows for the reduction of dead load and the production of non-structural elements. Since there is no standardized regulation in Ecuador for the production of this type of concrete, a scientific article was used as a reference, which determines that for densities ranging from 200 to 700 kg/m<sup>3</sup>. In its production, cement and water are first mixed, and then a chemical agent or a prepared stable foam is added, which must be thoroughly mixed with the cement paste to achieve cellular consistency. After analyzing the process of manufacturing cellular concrete, it was observed that the experimental values differed from the theoretical values, leading to the presentation of a fitting curve in relation to the foaming additive.

**KEYWORDS:** Density, foaming agent, strength, cellular concrete.

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad el hormigón es uno de los materiales más utilizados en el sector de la construcción, ya que es un importante material compuesto que permite realizar cualquier construcción. La razón por la que es necesario buscar alternativas que sean mejores en términos de construcción y materiales utilizados, que permitan reducir la densidad sin reducir significativamente su resistencia, llevó al diseño del hormigón celular.

El cemento es uno de los materiales más ampliamente utilizados en la industria de la construcción. De hecho, es el material más consumido en el mundo, con 14000 millones de metros cúbicos de hormigón utilizados anualmente, según la Asociación Mundial del Cemento y el Hormigón (GCCA) (ASOCEM, 2015)

El cemento se compone de silicatos de calcio finamente molidos y, en menor medida, de aluminatos de calcio. Cuando se mezcla con agua, el cemento produce una pasta que fragua y se endurece, lo que da lugar al concreto. El concreto es una mezcla básica de dos componentes: agregados y pasta. La pasta está hecha de cemento y agua y une los agregados, ya sean gruesos (como la grava) o finos (como la arena), para producir una reacción química que permite el endurecimiento de los materiales y la formación de una masa con características similares a las de una roca.

En Estados Unidos, el crecimiento de los agregados livianos es más rápido que en cualquiera de estos países. El vasto territorio del país hace que los costos de transporte sean elevados cuando se mueven materiales pesados a largas distancias hasta el sitio de construcción. Están situados a mayor distancia de los puntos de recogida, lo que hace más económico el uso de áridos en base espuma producidos en obra. Este factor conduce a un desarrollo más rápido del hormigón celular Valmada Navarro et al (2006).

Cabe señalar que existen dos métodos para hacer hormigón celular: el método químico y el método de formación de espuma. El método químico consiste en agregar aditivos químicos (polvo de aluminio) que reaccionan con la mezcla de concreto para formar un gas (hidrógeno) que permite retener un cierto volumen de aire; La segunda forma es crear espuma, que se puede agregar a la mezcla de dos maneras: adentro o afuera. El propósito de la espuma es atrapar el aire en el medio y homogeneizarlo en la mezcla. Sin embargo, la desventaja del hormigón celular producido por gas es que se produce exclusivamente en la fábrica, debido a la destilación a presión para crear resistencia y durabilidad, el costo es alto; La desventaja del hormigón celular es que tiene una resistencia muy volátil, por lo que es necesario controlar estrictamente la cantidad de aditivos o la velocidad de mezclado. Por el contrario, el hormigón celular prefabricado se puede fabricar in situ y proporciona un mejor control durante el uso Organista Valdiosera E (1999).

El líquido o agente espumante tiene un efecto espumante en el bloque de concreto, cuando se mezcla, formará una espuma con burbujas de aire, después de que la mezcla se endurezca, será capturada por burbujas de aire, creando microceldas que no se contactan entre sí. Así es como se produce el llamado hormigón celular. En principio, todos los productos de espuma pueden usarse para este propósito, pero en presencia de agua y mezcla, la tensión superficial disminuye y las burbujas revientan.

En la producción de hormigón celular, la etapa de mezcla es el factor básico que determina la calidad del producto. El tiempo de mezclado afecta directamente la resistencia y la densidad del concreto, cuanto mayor sea el tiempo de mezclado, menor será la densidad. Asimismo, las características del agitador en cuanto a velocidad de giro y forma de las palas afectan a las propiedades del hormigón producido en cuanto a la calidad de la mezcla que permite realizarlo.

Con el objetivo de comprender más detalladamente las propiedades y características del concreto celular que se produce con espuma preformada usando 4 agentes espumantes diferentes, se llevarán a cabo pruebas de laboratorio en esta investigación. Estas pruebas permitirán caracterizar el material de manera adecuada para su uso en la construcción.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El sector de la construcción es un importante impulsor de la economía y representó el 7,9% del Producto Interno Bruto (PIB) de Ecuador en el año 2020, según el Banco Central de Ecuador. El hormigón armado fue el material principal utilizado en la construcción de edificios, siendo utilizado para los cimientos, la estructura y la cubierta en un 93,9%, 88,0% y 55,6%, respectivamente. El material principal utilizado en las paredes fue el bloque, que se registró en el 64,9% de las posibles construcciones. INEC (2020).

Las construcciones suelen ser pesadas, con vigas de gran altura, columnas robustas y cimientos amplios o complejos debido al excesivo peso que generan, lo que a su vez se traduce en un alto costo de la obra.

El concreto aireado ha sido ampliamente aceptado en la industria de la construcción debido a los muchos beneficios que ofrece. El uso del sistema de hormigón celular minimizará la carga fija dentro de la estructura, es importante que, en caso de un desastre como un terremoto, sea más fácil retirar los escombros; su baja densidad acortará el tiempo de transporte del material al sitio, por lo que el transporte puede cargar más unidades de bloques o losas de hormigón celular; no requiere vibración, ya que gracias a la consistencia de la celda se distribuye uniformemente durante el vertido; y tiene un alto grado de aislamiento en comparación con otros materiales ligeros.

El hormigón celular está compuesto por cemento, agregado fino, agua, agente espumante, y en ocasiones fibras y aditivos. Los concentrados de espuma más comúnmente utilizados son aquellos que contienen hidroxilatos de proteínas o tensioactivos sintéticos, según lo indicado por la ACI 523.1R-06. A pesar de esto, estas nuevas tecnologías en el concreto aún no han sido ampliamente adoptadas en la industria de la construcción en Ecuador debido a la falta de conocimiento sobre nuevos materiales en el país.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es difundir información sobre cómo se utilizan los concretos celulares y cómo pueden agregar valor. Todos los agentes

espumantes pueden ser utilizados para fabricar el hormigón celular, pero deben mantener la estabilidad de las burbujas para evitar su ruptura durante todo el proceso, desde la generación de la espuma hasta el vertido del material en el molde y hasta que el material haya endurecido Córdova Flores (2021).

El presente trabajo de investigación busca tener otras alternativas de agentes espumantes haciendo un estudio de análisis comparativo entre 4 espumantes con diferentes características químicas, como materiales para la fabricación de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

El objetivo del trabajo es obtener resultados experimentales del hormigón celular y diferentes aplicaciones en función de su resistencia a la compresión. Este sistema constructivo se está implementando actualmente en todo tipo de proyectos, la principal ventaja es la baja densidad de construcción, por lo que puedes reducir la carga por ti mismo. Para la elaboración del concreto celular se utiliza una relación 1:1 (cemento: agregado fino, respectivamente), además de las normas Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) y American Society for Testing and Materials (ASTM) para materiales de referencia.

## **1.2. ANTECEDENTES**

En América Latina, el desarrollo del hormigón celular ha alcanzado un buen nivel de aceptación y producción. En Brasil, el hormigón celular está teniendo un auge importante, se utiliza en monumentos y estatuas grandes, ligeros y ostentosos, y ahora se utiliza en cajas de alto grado para aislamiento térmico y acústico de paredes. En Argentina, el concreto aireado se ha implementado utilizando bombas de espuma para construir bloques grandes y livianos. En Venezuela el hormigón celular se utiliza para la construcción de viviendas, adoquines y agregados, aunque es más económico que el hormigón común, se vende a un precio mayor que en el país, aprovechando el calor y sus negativos. Bemtsson C (2003)

El mortero celular, a diferencia del concreto celular, está compuesto de agua, cemento, agregado fino y aire. Variando la cantidad de aire en la mezcla, se pueden obtener diferentes tipos de mortero celular, según varios estudios realizados en su

historia (Yáñez López & Medina Piza, 2014). Sin embargo, es importante que haya compatibilidad entre el tensoactivo y las partículas de cemento para que el contenido de aire deseado se arrastre eficazmente y se logre la microestructura deseada del mortero.

Los aditivos y agentes espumantes utilizados en la producción de HC pueden ser productos orgánicos (resina) o inorgánicos (químicos) agregados al concreto durante la mezcla en pequeñas cantidades de 0.1% a 0.1% 5% por peso o por peso de cemento dependiendo de la selección del producto y el efecto deseado sobre el hormigón. Los aditivos cambian las propiedades físicas y mecánicas del concreto cuando está fresco o fraguado. Los aditivos permiten diferenciar la producción de hormigón del hormigón tradicional y dan impulso a la construcción, se consideran un nuevo ingrediente junto con el agua, el cemento y los áridos. ACI 116R y ASTM C 125 definen los aditivos como “materiales que no sean cemento, agua y agregados utilizados como componentes de mortero u hormigón Arbito Contreras Gerardo, (2016), Lazo Araya, (2017).

En el ámbito internacional, Joaquín Francisco, (2019) remite que, en México, la mayoría de los materiales utilizados en la infraestructura son de alta densidad, lo que no es ideal en áreas propensas a desastres naturales, ya que su colapso puede ocasionar daños y lesiones. Para abordar este problema, las estructuras tipo sándwich han ganado popularidad como reemplazo de algunos de estos materiales convencionales, ya que cumplen con los requisitos de rigidez y resistencia con un peso mínimo. Por lo tanto, es crucial estudiar estos materiales para su implementación en la construcción. El concreto espumado, un material liviano con un excelente desempeño en términos de aislamiento térmico, acústico y resistencia al fuego, puede ser utilizado como núcleo en materiales compuestos tipo sándwich. Además, se puede ajustar su densidad entre 400-1600 kg/m<sup>3</sup> según la aplicación deseada. La adición de fibras al concreto puede mejorar significativamente su resistencia a la compresión, ductilidad, resistencia a la flexión y dureza.

En este estudio, se examinó el rendimiento del concreto espumado con una densidad de 700 kg/m<sup>3</sup> bajo cargas de compresión y tensión. También se evaluó el efecto del refuerzo utilizando fibras de henequén (*Agave fourcroydes*) tratadas alcalinamente

y fibras de polipropileno. El uso de estos tipos de fibras como refuerzo modificó el modo de falla del concreto espumado, lo que permitió que el material resistiera una porción de la carga máxima a medida que se incrementaban las deformaciones. Para investigar los materiales compuestos tipo sándwich con caras de lámina de acero, se seleccionaron las mezclas con fibras que presentaron un mejor rendimiento y se sometieron a una prueba de flexión de 4 puntos como núcleo de dichos materiales. La inclusión de fibras en el núcleo mejoró la carga máxima soportada por los compuestos. Además, se realizaron simulaciones utilizando el método de elementos finitos para examinar la influencia de la unión entre las caras y el núcleo en la respuesta a la flexión de la materia

En su tesis de maestría titulada "Formación de geles moleculares a partir de surfactantes aniónicos derivados de aminoácidos", POZO GAVARA VICTOR (2021) define a las moléculas surfactantes como un tipo de moléculas anfífilas que se componen de una cabeza polar o hidrofílica y una o dos colas apolares o hidrofóbicas. Estas moléculas tienen una tendencia natural a autoensamblarse en estructuras discretas a escala nanométrica. Por lo general, la fracción hidrofóbica está compuesta por una cadena alquílica que contiene de 5 a 18 átomos de carbono y tiene una baja polarizabilidad. Por otro lado, la cabeza hidrofílica puede ser no iónica, iónica o anfótera. Este concepto es ampliamente aceptado en el ámbito internacional.

En el margen nacional, Contreras G.V., (2016) Se indica que la formación de los alvéolos en la masa de hormigón se logra mediante la adición de un agente espumante a la mezcla, que genera espuma con burbujas de aire a través de la agitación. Estas burbujas quedan atrapadas y se convierten en microcélulas que no están conectadas entre sí una vez que la mezcla se endurece. En la producción de hormigones celulares, el proceso de mezclado desempeña un papel fundamental en la calidad del producto. La duración del mezclado tiene un impacto directo en la resistencia y la densidad del hormigón, ya que cuanto más tiempo se mezcle, menor será la densidad obtenida.

En el país, se aplica la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), que establece dos tipos de morteros para uso en albañilería estructural: el mortero de

pega, que debe cumplir con parámetros físicos de plasticidad, consistencia y retención de agua, entre otros, y cuyo objetivo es alcanzar una resistencia mecánica adecuada. El otro tipo de mortero mencionado es el de relleno, que también debe cumplir con parámetros físicos y mecánicos esenciales para su función como aglutinante, siendo utilizado para llenar los espacios vacíos entre los bloques y el armado de acero de refuerzo que conforman la albañilería.

(Alex Bladymir, 2015) Para llevar a cabo este proyecto de investigación, se llevó a cabo un estudio de los agregados provenientes de dos canteras ubicadas en la provincia de Cotopaxi. Estas canteras son ampliamente utilizadas y suministran sus productos a constructores y fabricantes de prefabricados y mampostería para la construcción. Los agregados fueron examinados y controlados siguiendo las especificaciones de la norma NTE INEN 872.

Posteriormente, se procedió a realizar la dosificación correspondiente utilizando estos agregados para lograr resistencias de  $f'c = 60 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 45 \text{ kg/cm}^2$  en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil. Se utilizó el método de dosificación de hormigones por la densidad máxima de la Universidad Central del Ecuador, junto con aditivos para mejorar la trabajabilidad del hormigón y un aditivo impermeabilizante para evaluar la permeabilidad de los hormigones elaborados, tanto con aditivo como sin él.

Se tomaron muestras cilíndricas de los hormigones elaborados, tanto curadas como no curadas, para ser ensayadas a los (7, 14, 21, 28) días con el objetivo de determinar cuáles de ellos alcanzaron una resistencia superior. Además, se utilizó un aditivo impermeabilizante en la dosificación de los hormigones para evaluar su permeabilidad. Se utilizaron las cantidades recomendadas por el fabricante, obteniendo resultados satisfactorios en la elaboración de hormigón de baja densidad.

En el ámbito local Gonzabay Asencio, (2020) expone que, este trabajo de titulación se centra en el diseño estructural de un sistema de losa alivianada utilizando losetas de mortero celular. Se siguen las normas norteamericanas ACI 318-14, ACI 523.1R-06 y las normas ecuatorianas NEC-SE-CG, NEC-SE-HM y NEC-SE-

VIVIENDA. Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la composición óptima del mortero celular, con el objetivo de aligerarlo mediante burbujas de aire. Además, se construyó una viga a escala real y se sometió a cargas elásticas para obtener sus propiedades mecánicas. Estas propiedades se utilizaron para el diseño de las losetas y nervios. Los nervios prefabricados están compuestos por dos materiales, con mortero celular en la parte inferior y la armadura expuesta en la parte superior. La fundición in situ de la porción superior permitió lograr una unión monolítica entre las vigas fundidas in situ, losetas y nervios prefabricados, creando secciones compuestas. El estudio concluye con recomendaciones y orientaciones para futuras investigaciones relacionadas con este material.

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis General.**

El análisis y la comparación entre los agentes espumantes (KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIA) mediante ensayos de laboratorio conducirá a la selección del mejor diseño Hormigón Celular de 400 kg/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta las propiedades físico – mecánicas.

#### **1.3.2. Hipótesis Específicos.**

**H.E1.:** Los espumantes reaccionan de igual manera al entrar en contacto con cemento formando el hormigón celular.

**H.E2.:** Al dosificar las mismas cantidades de material, pero con distinto espumante influye en las propiedades del hormigón celular.

**H.E3.:** Las propiedades y el costo del hormigón varían dependiendo el uso y dosificación con cada espumante.

## **1.4. OBJETIVOS**

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

Realizar un hormigón celular de densidad  $400 \text{ kg/m}^3$  mediante ensayos experimentales con diferentes productos espumantes para analizar un estudio comparativo entre los hormigones resultantes teniendo en cuenta las propiedades obtenidas.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

**O.E1.:** Realizar la caracterización de materiales empleados para la mezcla del hormigón, a través de fichas técnicas y ensayos realizados en el laboratorio que permitan conocer su comportamiento

**O.E2.:** Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  utilizando diferentes agentes espumantes para realizar probetas y ensayarlas en el laboratorio.

**O.E3.:** Ejecutar un análisis comparativo de los resultados del comportamiento físico-mecánico de las probetas mediante cuadros estadísticos que permita seleccionar la mezcla con mejores propiedades según la norma ACI 523.1R-06 para evaluar los costos de producción de esta.

## **1.5. ALCANCE**

Este proyecto de investigación tendrá un impacto directo en la innovación del sector de la construcción y trabajos ingenieriles mediante la introducción de nuevas alternativas en materiales y procesos de construcción. Se definirá el concepto de espumante y se describirá cada tipo para seleccionar el más adecuado en la producción del hormigón. Se identificarán y describirán las características y beneficios de diferentes agentes espumantes para la producción de hormigón celular con una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$ . Luego se explicará la metodología para la

realización de los ensayos de laboratorio en las mezclas de concreto celular y se evaluarán los resultados obtenidos de forma cuantitativa. Se comparará cada agente espumante para determinar el comportamiento mecánico más relevante del hormigón, como la resistencia a la compresión a los 28 días y su peso en función de la densidad. Además, se hará una evaluación de costos, ventajas y limitaciones del hormigón celular con otros materiales de construcción. Se utilizarán métodos y técnicas apropiados para la recolección de datos y se propondrá un nuevo método de construcción basado en los resultados de la investigación. Finalmente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variables Independientes.**

- ✓ Densidad del espumante
- ✓ Dosificación de hormigón
- ✓ Propiedades de materiales

### **1.6.2. Variables Dependientes.**

- ✓ Resistencia a la compresión
- ✓ Costo

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. HORMIGÓN**

Mastropiero (2021), Determina que, el hormigón es una piedra artificial compuesta por un conglomerante y materiales inertes, y su resistencia aumenta con el tiempo. El conglomerante está formado por una mezcla de cemento y agua. Los materiales inertes se agregan a la mezcla por razones económicas, ya que tienen resistencias similares a la piedra artificial, y deben tener diferentes tamaños para minimizar el volumen de la pasta necesaria. Por lo general, se añaden aditivos y/o adiciones al hormigón con el fin de mejorar ciertas propiedades que no posee de forma natural.

La dosificación del hormigón tiene en cuenta factores como la trabajabilidad, la consistencia, la resistencia y la durabilidad, con el objetivo de obtener un material económico. Esto depende de la relación agua-cemento, las características de los áridos, el asentamiento y otros factores.

La resistencia de diseño de una mezcla de hormigón convencional se encuentra en el rango de 180 a 500 kg/cm<sup>2</sup>, con una densidad alrededor de 2400 kg/cm<sup>3</sup>, mientras que en un diseño de mezcla de hormigón especial puede alcanzar resistencias de hasta 2000 kg/cm<sup>2</sup> con una densidad superior a 3200 kg/cm<sup>3</sup>.

### **2.2. HORMIGÓN LIVIANO**

El término "hormigón liviano" se utiliza para describir aquel que tiene una densidad inferior a 1900 kg/m<sup>3</sup>, mientras que el hormigón convencional tiene una densidad normal de 2400 kg/m<sup>3</sup>. El hormigón ligero es un tipo específico de hormigón que tiene diversas aplicaciones, especialmente cuando se necesita reducir el peso de una estructura, ya sea debido a su altura o a las condiciones que debe soportar. Además, este material se caracteriza por tener una baja conductividad, lo que lo convierte en

un excelente aislante y representa una ventaja adicional que no debe pasarse por alto. Es importante tener en cuenta que el hormigón ligero puede obtenerse de diferentes maneras. De hecho, lo que determina que un hormigón sea considerado ligero es que su densidad sea igual o inferior a  $2,0 \text{ kg/m}^3$  Caicedo Barona (2019).

### **2.2.1. Clasificación de hormigón liviano.**

La amplia variedad de tipos de hormigones livianos disponibles en el mercado de la construcción dificulta su clasificación debido a los diferentes métodos de producción utilizados. Sin embargo, se puede adoptar una clasificación y explicación breve de los siguientes tipos:

#### **2.2.1.1. *Hormigón de agregado ligero.***

Utiliza agregados livianos porosos con baja gravedad específica aparente.

#### **2.2.1.2. *Hormigón sin finos.***

Omite el agregado de finos, lo que resulta en una mayor presencia de vacíos intersticiales. Los agregados gruesos tienen un peso específico normal.

#### **2.2.1.3. *Hormigón aireado, celular, espumoso o gaseoso.***

Se introducen vacíos deliberadamente en el hormigón, a diferencia de los vacíos resultantes del arrastre de aire. Esto se logra mediante la incorporación de aire o gas en la masa del hormigón fresco Lazo Arraya (2017).

A lo largo de los años, ha habido avances e innovaciones en el desarrollo del hormigón, especialmente en la producción de hormigones livianos con resistencias que cumplen con las normas aplicables a diferentes usos. Esta investigación se enfoca específicamente en el ítem c: Hormigón Celular (llamado así por la presencia de células o huecos), donde se utiliza un agente espumante durante el proceso de elaboración.

La incorporación de espuma en la mezcla crea celdas de aire en su interior, lo que da origen a su denominación. Este tipo de hormigón se explica en detalle a continuación.

**Tabla 1**

*Clase de concreto ligero*

CLASES DE CONCRETO LIGERO DE ACUERDO CON EL PROCESO DE FABRICACION			
SIN FINOS	DE AGREGADO LIGERO	CELULAR	
<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>	<b>AGENTES QUÍMICOS</b> <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>	<b>AGENTES ESPUMOSOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espuma preformada</li> <li>• Espuma en la mezcla</li> </ul>

*Nota: Tomado de (Méndez, 2017)*

### 2.3. HORMIGÓN CELULAR

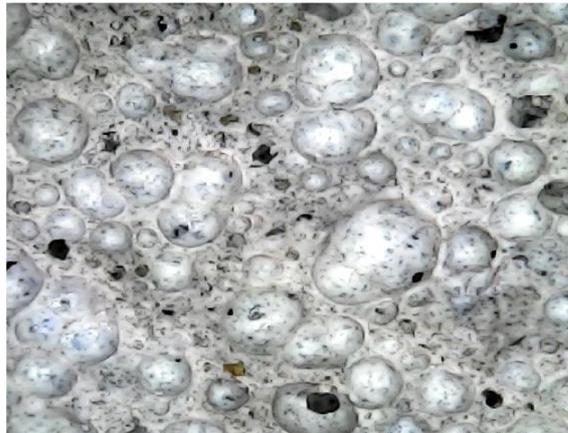
El desarrollo del hormigón celular tuvo como objetivo principal encontrar un material de construcción que presentara las ventajas de la madera, como el aislamiento, la solidez y la facilidad de trabajo, mientras se evitaban sus desventajas, como la combustibilidad, la fragilidad y la necesidad de mantenimiento. Este tipo de hormigón se obtiene mediante la mezcla de cemento, arena, agua, un agente espumante y aditivos específicos que mejoran las propiedades finales. Una vez que se endurece, se forma un hormigón liviano que contiene millones de pequeñas burbujas o celdas de aire distribuidas de manera uniforme en toda la masa.

La densidad del hormigón celular es inferior a la del hormigón convencional y esto depende de la cantidad de espuma que se mezcle, tal como se ve en la figura 1. Al

regular adecuadamente las proporciones del mortero y del agente espumante, se pueden obtener diferentes valores de densidad en el producto final, que van desde 250 kg/m<sup>3</sup> hasta 2200 kg/m<sup>3</sup>. El volumen de aire atrapado en la masa del hormigón determina su densidad y, como consecuencia, su resistencia Mairongo Sánchez (2018).

**Figura 1**

*Hormigón Celular*



*Nota:* (Alomoto & Mejillones, 2022)

## **2.4. METODOS PARA LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR**

Hay varias formas de preparar el hormigón celular, pero la mayoría se puede reducir a tres tipos:

- ✓ 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 Contreras G.V. (2016)

A lo largo del tiempo, los sistemas prefabricados han experimentado cambios para adaptarse a las necesidades y demandas de cada época. Existen varios métodos para la producción de hormigón celular, siendo los más conocidos los siguientes:

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

Según el método utilizado en la preparación, las células en el hormigón celular se pueden clasificar en dos grupos principales Arbito Contreras Gerardo (2016)

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

#### **2.4.1.1. *Hormigón celular por desprendimiento.***

Las células o burbujas en el hormigón celular se generan a través de una reacción química que produce la liberación de gases. Existen tres tipos de procedimientos para generar estas burbujas (LUMITOS, 2016)

- a) Incluir dos productos químicos que reaccionan entre sí en presencia del agua de mezclado, lo que provoca la liberación de gas.
  - ✓ Por ejemplo, la combinación de ácido clorhídrico y bicarbonato de sodio genera la liberación de dióxido de carbono.
  - ✓ Otra opción es el uso de cloruro de cal y agua oxigenada, que produce la liberación de oxígeno.
  - ✓ También se puede utilizar carburo de calcio y agua, que genera la liberación de acetileno.
  
- b) Incluir en la mezcla un producto químico que pueda reaccionar con el cemento en presencia de agua, generando la liberación de gas.
  - ✓ Algunos ejemplos son los polvos metálicos como calcio, aluminio, magnesio, zinc, bario o litio.
  - ✓ También se pueden utilizar sales como carbonatos o bicarbonatos.

c) Incluir en la mezcla un producto que pueda causar la liberación de gas mediante fermentación, bajo la influencia del calor de hidratación del cemento.

- ✓ Esto se logra utilizando levaduras orgánicas o fermentaciones lácticas.

#### **2.4.1.2. Hormigón celular en base de espuma.**

La creación de alveolos dentro del bloque de hormigón se logra mediante la adición de un agente espumante a la mezcla, lo cual genera espuma con burbujas de aire cuando se agita. Al endurecerse la mezcla, estas burbujas quedan atrapadas, formando células finas que no están interconectadas. En teoría, cualquier producto espumante puede utilizarse con este propósito, pero la presencia de agua y el proceso de mezclado reducen la tensión superficial, lo que provoca la ruptura de las burbujas Arbito Contreras Gerardo, (2016).

#### **2.4.2. Hormigón celular con áridos livianos.**

Contreras G.V. (2016) Se argumenta que, en la producción de hormigones livianos, es posible sustituir parcial o completamente la arena (agregado) por diversos agregados livianos. La mezcla de concreto se compone de agregados livianos, que pueden incluir escorias de altos hornos, piedra pómez, arcilla o lutita (preparada mediante cocción para desarrollar estructuras porosas) y polietileno expandido.

### **2.5. VENTAJAS DEL HORMIGON CELULAR**

Retamal, 2020; ROBALINO VILLAGOMEZ, (2016), Indican que el hormigón celular presenta diversas ventajas destacables, entre las cuales se encuentran:

- ✓ En áreas con suelos de baja capacidad de carga y en regiones sísmicas, se busca reducir las fuerzas de inercia, lo que convierte al hormigón celular en una opción favorable.
- ✓ Posee una buena trabajabilidad y mayor fluidez en comparación con otros tipos de hormigón, lo que reduce los costos de compactación y facilita el llenado en los encofrados, incluso en presencia de congestión de armaduras.
- ✓ La fluidez y la falta de segregación resultan en una mayor homogeneidad y una cantidad mínima de vacíos, lo que permite obtener una mejor terminación y una estructura duradera.
- ✓ El hormigón celular presenta una consistencia óptima debido a la ausencia de agregado grueso y a la presencia de espuma, lo que le confiere autonivelación y facilidad de llenado de cualquier espacio. No requiere vibración.
- ✓ Es un material no inflamable y tiene una conductividad térmica muy baja, lo que lo convierte en una opción adecuada para sistemas de protección contra incendios.
- ✓ Ofrece altos niveles de aislamiento térmico y, combinado con el bajo consumo de cemento y agregados, resulta en un material ambientalmente sostenible. Este aspecto cobra cada vez más importancia desde el punto de vista social y económico.
- ✓ La adición de fibras a estos hormigones aumenta su módulo elástico, mejorando su resistencia a la tracción y a la flexión, y ayudando a controlar las fisuras generadas por estos esfuerzos en el material. Como resultado, es posible obtener un material superior con propiedades mejoradas.

## **2.6. DESVENTAJAS DEL HORMIGON CELULAR**

- ✓ Experimenta una mayor contracción durante el fraguado, lo que lo hace más frágil y con un módulo de elasticidad más bajo en comparación con materiales de resistencias mecánicas equivalentes.
- ✓ Tiene limitaciones en su uso estructural, lo que restringe sus aplicaciones en ciertos proyectos.
- ✓ Es más susceptible a los agentes químicos debido a su mayor porosidad.

- ✓ Presenta bajas resistencias debido a la presencia de vacíos, lo que dificulta alcanzar los niveles de resistencia deseados en ocasiones.
- ✓ El proceso de dosificación, mezclado y curado debe ser extremadamente cuidadoso durante la producción, ya que cualquier factor puede alterar sus propiedades.
- ✓ Requiere un encofrado que demande mayor atención durante la colocación.
- ✓ Necesita un curado en cámaras herméticas altamente resistentes y costosas, especialmente cuando se trata de elementos de grandes dimensiones, según señalan Cevallos Macias (2020).

## **2.7. APLICACIONES Y USO DEL HORMIGÓN CELULAR**

La utilización de concreto ligero en edificios y construcciones se está haciendo cada vez más extensa. A continuación, están algunas de las aplicaciones típicas para este:

### **2.7.1. Con densidades entre 300 y 600 kg/m<sup>3</sup>.**

Se utiliza en azoteas y pisos como aislante térmico y acústico, aplicándolo en suelos rígidos; para canchas de tenis y rellenos interespaciales entre capas de ladrillos en paredes subterráneas, aislamiento en bloques vacíos y cualquier otra situación de relleno donde se requieren propiedades elevadas de aislamiento Orozco Everlein (2022).

#### **2.7.1.1. *Aislamiento térmico.***

Puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión de calor. Una de las características más especiales que posee el concreto celular es el valor relativamente alto del aislamiento térmico, que se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material. La conductividad total de un concreto poroso es la resultante de la conductividad térmica de la estructura de silicatos más la del aire contenido en ellos. Por esta razón, la conductividad térmica se relaciona con la densidad aparente.

### **2.7.1.2. *Protección contra el fuego.***

Los edificios se clasifican de acuerdo al carácter potencial de producción de calor que poseen sus materiales constitutivos y su contenido normal. El concreto celular es no combustible y gran parte de su resistencia a los efectos del fuego se atribuyen a la fuerte proporción de agua que contiene, la cual tiene que ser eliminada antes de que se presente algún tipo de falla.

### **2.7.1.3. *Propiedades acústicas.***

La efectividad de los muros sólidos para reducir el sonido transmitido es proporcional al peso del muro, es decir, entre más liviano sea un muro más aislamiento acústico proporciona, teniendo en cuenta la distribución uniforme de vacíos para poder aislar las frecuencias altas y bajas. Una de las ventajas del concreto celular es la absorción inherente que se proporciona en las cavidades, es decir, este tipo de concreto genera un efecto de colchón de absorción del sonido, lo que lo convierte en un atenuante oportuno del sonido que se utiliza en muros divisorios o de fachada.

### **2.7.1.4. *Durabilidad***

El concreto celular se comporta de manera similar al concreto convencional, pero por el hecho de ser más poroso es más vulnerable a daños físicos. Al utilizarse por debajo del nivel natural del terreno deben contener un aditivo hidrófugo especial para evitar el daño por contacto con agua. El ataque químico del aire no es significativo, a excepción del que se produce en medios sumamente contaminados. De cualquier manera, se acostumbra proteger el concreto celular con estucos, principalmente. Cuando el concreto celular ya ha sido instalado se debe tomar la misma precaución para la contracción por temperatura que en un concreto convencional. Los daños mecánicos pueden resultar de la abrasión o impactos, pero pueden también provenir de una carga excesiva en miembros de flexión. Esto se reduce o se anula utilizando fibras de poli-

propileno especiales para concreto celular. Un aspecto de gran importancia es el uso de varillas con alto grado de corrosión, ya que esto podría ocasionar descascaramiento al concreto ligero.

## **2.8. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES**

### **2.8.1. Cemento.**

El cemento es un material importante en las construcciones porque permite lograr la formación del hormigón. La unión de los agregados pétreos y arena no sería posible sin el cemento, ya que es éste el responsable de permitir su unificación en una sola mezcla consistente. Cuando el cemento es mezclado con los demás componentes del hormigón, y entra en contacto con el agua, se produce una reacción química llamada hidratación. Este fenómeno conlleva al proceso de fraguado. En términos simples, durante el fraguado las partículas pétreas quedan envueltas por un gel, el cual va en aumento con el transcurrir del tiempo. Esto origina que el resto de materiales se fusionen para formar una masa pastosa única, conocida como hormigón Quiroz Jair, (2023).

Cemento es producido con Clinker, adiciones minerales, sulfato de calcio, estos componentes son dosificados en la molienda obteniendo un producto de alta fineza y calidad. Esto permite que la mezcla de concreto alcance resistencias iniciales más altas en comparación con otros tipos de cemento, lo que puede ser beneficioso para proyectos donde se necesita una rápida apertura al tráfico, desencofrado temprano o carga temprana. Para asegurar la calidad mantenemos un sistema de gestión de calidad basado en la Norma International Organization For Standar (ISO) 9001. Esto lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere una resistencia temprana, como en proyectos de construcción que necesitan alcanzar niveles de carga o soporte en un período de tiempo relativamente corto. A través del proceso de fraguado, la mezcla se endurece y adquiere la resistencia y durabilidad necesarias para soportar cargas aplicadas DURAN HERRERA (2016). (ver la tabla 2)

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

	TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
			INEN	ASTM
<b>PUROS</b>	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
<b>PUROS</b>	IS	Portland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Portland puzolánico	490	C 595
	P	Portland puzolánico (cuando no se requieren resistencias iniciales alta)	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
<b>POR DESEMPEÑO</b>	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: Adaptado del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón INECYC (2007).*

### 2.8.2. Árido.

La arena es un material ampliamente utilizado en la construcción y ha sido utilizado a lo largo de la historia de la civilización. Se caracteriza por tener partículas con tamaños que van desde 0,063 hasta 2 milímetros. En la fabricación de hormigón, se utiliza en diferentes proporciones dependiendo de las necesidades específicas, como la resistencia a los sulfatos, la permeabilidad y la resistencia a la corrosión. La arena es uno de los recursos naturales más abundantes en el planeta y su facilidad para compactarse la hace adecuada para fortalecer estructuras.

De acuerdo con Rocha, (2020) Las arenas se clasifican en diferentes categorías según su granulometría. Existen arenas gruesas, medias y finas. Las arenas gruesas son aquellas que tienen partículas que pasan a través del tamiz N°4, pero son retenidas por el tamiz N°8. Las arenas medias, por su parte, pasan a través del tamiz N°8 pero son retenidas por el tamiz N°30. Finalmente, las arenas finas son aquellas que pasan a través del tamiz N°30, pero son retenidas por el tamiz

Nº50. Esta clasificación ayuda a determinar las propiedades y usos adecuados de cada tipo de arena en diferentes aplicaciones de construcción.

### **2.8.3. Agua.**

El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del hormigón en la aplicación Botero Iván (2023).

La cantidad de agua utilizada en la producción de hormigón celular se dosifica en función de su consistencia, ya que el exceso de agua quedará atrapado en los poros y se evaporará posteriormente. A diferencia del concreto convencional, el exceso de agua en el hormigón celular no tiene el mismo impacto negativo. Las relaciones agua/cemento empleadas varían entre 0.4 y 0.6, considerando que una mezcla demasiado seca puede romper las burbujas, mientras que un exceso de agua puede generar una pasta muy fluida y provocar la segregación de las burbujas en la mezcla Muñoz Pérez (2021).

### **2.8.4. Espumante.**

Los espumantes son utilizados en la fabricación de hormigón celular para introducir agua en la mezcla mediante la combinación de un aditivo con agua y aire. Estos aditivos generan espuma que se agrega a la mezcla de hormigón con el objetivo de incorporar microburbujas que se mezclan con la pasta de cemento. Esto resulta en la formación de microvacíos, ya que las burbujas están compuestas por aire, aditivo y agua. Una de las principales características del hormigón celular es su baja densidad en comparación con el hormigón convencional.

El agente espumante es una de las tecnologías importantes en la producción de hormigón celular, su desempeño es bueno o malo y afecta directamente el contenido de aire en la solución fresca, la fluidez y la estabilidad del volumen de fundición y finalmente afecta la densidad del bloque. y resistencia de la pasta de

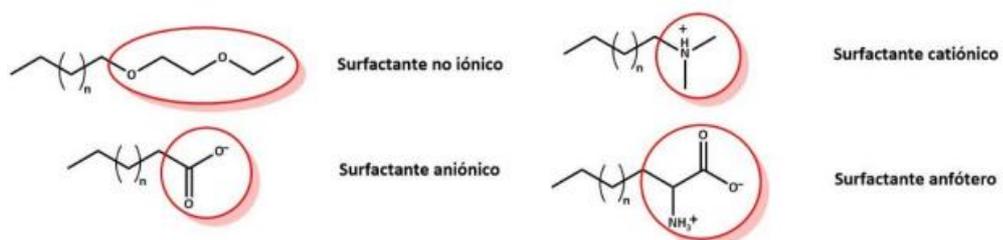
cemento endurecida. El principio de espumado de hormigón celular incluye espumado físico y espumado químico.

El espumado físico se basa en el uso de un tensioactivo de un agente espumante para que las burbujas de aire que se forman durante la mezcla no se aglomeren, desborden o desaparezcan. La formación de espuma química generalmente se refiere al uso de reacciones químicas de una sustancia para crear un gas que rodea el concreto, lo que da como resultado una gran cantidad de vacíos Simo Chemical (2019)

Esta tendencia está influyendo cada vez más en la creación de elementos cada vez más prácticos, principalmente elementos más ligeros, de ahí el desarrollo de sistemas ligeros y prefabricados, que pueden distinguir la inclusión de componentes industriales. El concreto liviano, también conocido como concreto celular o poroso, se desarrolló hace más de 60 años, pero su impacto es insignificante debido a la complejidad del proceso inicial y su costo Rengifo Cuenca (2013)

**Figura 2**

*Clasificación de los diferentes tipos de moléculas surfactantes*



*Nota: La concentración micelar crítica (CMC) es la concentración de surfactante en un disolvente en la que comienzan a formarse micelas espontáneamente.*

## 2.9. EQUIPO PARA LA FABRICACIÓN DE ESPUMA

En el campo de la generación de espuma, se han desarrollado diversas técnicas y métodos para producir este material con eficiencia y precisión. En el presente caso,

se implementó una máquina especializada para llevar a cabo este proceso, compuesta por una serie de componentes clave cuidadosamente seleccionados y coordinados para lograr un resultado óptimo.

El núcleo de esta máquina de generación de espuma es un sistema de mezcla y dosificación altamente avanzado. Este sistema garantiza la proporción adecuada de los ingredientes esenciales para la formación de la espuma, lo que influye directamente en sus propiedades físicas y químicas. La precisión en la dosificación es crucial para obtener una espuma homogénea y consistente en su estructura.

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

### **Figura 3**

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



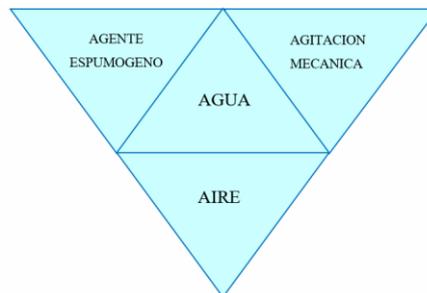
*Nota: Imagen tomada por autor con permiso del fabricante.*

Según el artículo científico de Guerrero Velázquez José María (2018) titulado "Introducción a la Espuma Contraincendios", la espuma se compone de una capa o masa de burbujas de gas, en este caso aire, que son generadas a partir de soluciones acuosas de agentes espumantes. El autor resalta de manera enfática la necesidad imperante de articular cuatro elementos esenciales con precisión milimétrica, a fin de desencadenar el proceso de producción. Cada uno de estos elementos, cual piezas de un intrincado rompecabezas industrial, se convierte en la esencia misma

del entramado productivo, siendo su ausencia o desajuste análogo al desequilibrio de una sinfonía magistralmente compuesta.

#### **Figura 4**

*Elementos que componen la elaboración de espuma*



*Nota: Tetraedro de la formación de espuma*

La adición de agentes espumantes al agua de la mezcla genera burbujas que se integran en la pasta de cemento, lo que afecta las propiedades del hormigón espumado. Según la cantidad y calidad de la espuma, se determinan las características del material resultante Yáñez López & Medina Piza (2014).

Se pueden identificar dos tipos de agente espumante:

- ✓ Sintético, adecuado para densidades iguales o superiores a  $1.000 \text{ kg/m}^3$
- ✓ Proteínico, que es adecuado para densidades entre  $400 \text{ kg/m}^3$  y  $1.600 \text{ kg/m}^3$  (KHALID. ALI. M. GELIM, 2011)

Los agentes espumantes de proteína tienen un peso aproximado de  $80 \text{ g/l}$  y se obtienen a partir de proteínas animales, como cuernos, sangre y huesos de vacas y cerdos, así como de otros restos de animales muertos. Debido a las diferentes materias primas utilizadas, estos agentes espumantes presentan variaciones considerables en cuanto a su calidad y generan un intenso olor. Los dos tipos de agentes espumantes reducen la tensión superficial de la solución, lo que facilita la formación de burbujas de aire estables. Los agentes espumantes sintéticos son sustancias anfiproticas que tienen la capacidad de dar o recibir un protón y son fuertemente hidrófilos, lo que significa que se disuelven fácilmente en agua y producen burbujas de aire.

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Tipo.**

Alomoto & Mejillones (2022), llevaron a cabo un estudio experimental en el que se implementó la fabricación de morteros tradicionales y, por separado, la inclusión de diferentes cantidades de espuma para crear un mortero celular de 1m<sup>3</sup>. Las pruebas realizadas en los cilindros posteriormente siguieron normativas aplicadas en ensayos de laboratorio para realizar un análisis comparativo de los 4 tipos de espumantes utilizados.

#### **3.1.2. Nivel.**

Cauas (2015), Este tema de estudio abarca tanto el nivel de investigación explicativo como el aplicativo. El enfoque explicativo se centra en el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión de los hormigones, mientras que el enfoque aplicativo implica realizar los ensayos y posteriormente determinar las dosificaciones necesarias para la fabricación de los hormigones.

### **3.2. METODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

#### **3.2.1. Método.**

Bastis Consultores, (2021) El enfoque utilizado en el estudio actual es el método hipotético-deductivo, ya que, a través de la realización de experimentos, podemos determinar la cantidad adecuada de espumantes en los diferentes diseños de hormigón. Esto nos permite obtener resultados concretos y basados en la

observación y el razonamiento lógico y con la comparación con las normas de fabricación de hormigón celular.

### **3.2.2. Enfoque.**

En esta investigación, emplearemos el enfoque cuantitativo, ya que estamos trabajando con el diseño de hormigones, que requiere una precisión en las cantidades utilizadas. Para lograr una ejecución exitosa, es fundamental utilizar medidas exactas y cuantificables en el proceso. De esta manera, podemos obtener resultados confiables y objetivos al analizar los efectos de diferentes variables en los hormigones diseñados Pinto & Maldonado (2018).

### **3.2.3. Diseño.**

Para la preparación de la mezcla de hormigón celular, se empleó el método gravimétrico ASTM C138/C138M, (2014), denominado así debido a que se centra en determinar el peso específico inicial del mortero en lugar de la dosificación de cada uno de sus componentes Rengifo Cuenca (2013). Este método implica calcular la cantidad de mortero convencional y la correspondiente cantidad de espuma necesaria para obtener un diseño de  $1\text{m}^3$  de mortero celular, considerando diferentes masas unitarias Acosta López (2003). En otras palabras, el cálculo se realiza en base a la masa unitaria promedio del mortero convencional Acosta López (2003).

El diseño experimental incluye una descripción detallada de los ensayos utilizados para la elaboración de las muestras de hormigón, la caracterización de los materiales empleados y los ensayos realizados en el hormigón en estado fresco y endurecido a intervalos de 7, 14 y 28 días. Estos ensayos permiten evaluar tanto las propiedades del hormigón recién mezclado como su resistencia y durabilidad a medida que se produce el proceso de endurecimiento.

## **3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

En el ámbito de la investigación y el análisis, la interacción entre la población, la muestra y el proceso de muestreo desempeña un papel fundamental. La población

representa el conjunto completo de elementos o individuos que son objeto de estudio, como un vasto océano de información. Sin embargo, debido a limitaciones de tiempo y recursos, es prácticamente imposible analizar cada elemento de la población.

### **3.3.1. Población.**

La población de interés se refiere a un conjunto de casos que comparten características comunes y que serán objeto de estudio Carrillo Flores (2015). En este estudio particular, se investigó la elaboración de hormigones celulares utilizando cemento Chimborazo HE (industrial), agregado fino extraído de la cantera del Río Boliche en la provincia del Guayas, adquiridos en la provincia de Santa Elena, y diferentes espumas. Estas espumas incluyeron una desarrollada como parte de un proyecto de investigación de hormigones celulares en la UPSE, otra utilizada para combatir incendios y una tercera especializada en hormigones celulares. Todos estos materiales fueron sometidos a ensayos en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

### **3.3.2. Muestra.**

Según la definición de Carrillo Flores (2015), una muestra se refiere a una parte o subconjunto de la población seleccionada. Se utiliza con el propósito de estudiar a la población de manera más factible, ya que es más fácil de contar y analizar en comparación con la población completa. Cuando se lleva a cabo un estudio sobre el comportamiento, las propiedades o las preferencias de una población específica en su totalidad, suele ser práctico extraer muestras representativas.

En el presente estudio, se utilizó una muestra compuesta por un total de 40 cilindros, los cuales fueron elaborados con dimensiones específicas de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Estos cilindros se seleccionaron como una representación representativa y significativa del objeto de estudio. La elección de esta muestra específica se basó en consideraciones prácticas y metodológicas. Al seleccionar cilindros con dimensiones estándar, se garantizó la consistencia y

uniformidad en las medidas de los elementos de estudio. Esto facilita la comparación y el análisis de los resultados obtenidos.

Es importante destacar que el tamaño de la muestra puede variar dependiendo de la naturaleza del estudio y los objetivos planteados. En este caso, se consideró que una muestra de 40 cilindros era adecuada para obtener resultados confiables y representativos de las variables en cuestión. Estos cilindros se sometieron a los correspondientes ensayos y análisis para obtener información valiosa y relevante para el estudio en cuestión.

### **3.3.3. Muestreo.**

Según Carrillo Flores, (2015), el muestreo es una herramienta esencial que nos permite comprender el comportamiento de una población infinita a partir de un subconjunto de elementos, lo que nos brinda una mayor precisión en los resultados obtenidos. Al realizar un muestreo, es fundamental considerar dos factores clave: la representatividad y la aleatoriedad. En términos comunes, la aleatoriedad se refiere a la ausencia tanto aparente como real de un patrón o previsibilidad en los eventos. Una secuencia aleatoria de eventos, símbolos o pasos generalmente carece de un orden discernible y no sigue un patrón o combinación lógica. La representatividad implica que los elementos seleccionados para la muestra deben tener características comunes que reflejen fielmente las cualidades y propiedades de la población en estudio. Esto garantiza que los resultados obtenidos de la muestra sean extrapolables y aplicables a la población en su totalidad.

Las probetas cilíndricas de hormigón celular que se elaboró son sometidas a ensayos de resistencia a compresión, lo que permite determinar y analizar tanto el comportamiento del hormigón en estado fresco como en estado endurecido. Además, estos ensayos permiten comprender cómo se comporta el hormigón en diferentes etapas, desde su estado fresco, donde se analizan aspectos como la trabajabilidad y la consistencia, hasta su estado endurecido, donde se evalúa su durabilidad y resistencia final.

### **3.4. METODOLOGIA DEL O.E1.: Realizar la caracterización de materiales empleados para la mezcla del hormigón, a través de fichas técnicas y ensayos realizados en el laboratorio que permitan conocer su comportamiento.**

#### **3.4.1. Cemento Chimborazo tipo HE (Industrial).**

El cemento Chimborazo HE es un tipo de cemento que se caracteriza por su alta resistencia y durabilidad. Es producido por la empresa Cemento Chimborazo en Ecuador y cumple con las normas y estándares de calidad establecidos en el país. Es importante tener en cuenta que las características específicas del cemento industrial tipo HE pueden variar según las normativas y especificaciones de cada país o región. En la figura 5 se puede apreciar la presentación de dicho cemento.

##### ***3.4.1.1. Algunas características distintivas del cemento Chimborazo HE incluyen.***

Es importante tener en cuenta que la caracterización específica del cemento Chimborazo HE puede variar dependiendo de las especificaciones del fabricante y las normas aplicables en cada país. Por lo tanto, es recomendable consultar las fichas técnicas y la documentación proporcionada por Cemento Chimborazo para obtener información precisa y actualizada sobre sus propiedades y usos.

- a) **Alta resistencia.** Este tipo de cemento se destaca por su resistencia a la compresión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren un concreto de alta resistencia, como estructuras de carga pesada o infraestructuras que estarán expuestas a condiciones exigentes.
- b) **Durabilidad.** El cemento Chimborazo HE es conocido por su durabilidad a largo plazo, lo que garantiza la vida útil y la integridad de las estructuras construidas con este material. Es capaz de resistir la acción de agentes agresivos como el agua, los productos químicos y el desgaste causado por el paso del tiempo.

- c) **Versatilidad.** Este tipo de cemento es adecuado para una amplia gama de aplicaciones de construcción, tanto en proyectos residenciales como comerciales e industriales. Puede ser utilizado en la fabricación de concreto premezclado, mortero, hormigón armado, elementos prefabricados y otros productos de construcción.
- d) **Control de calidad.** El cemento Chimborazo HE es sometido a rigurosos controles de calidad durante su producción para garantizar que cumpla con los estándares establecidos tal como se ve en la figura 5. Esto asegura que el cemento entregado a los clientes sea consistente en términos de composición, resistencia y características físicas.

### Figura 5

*Cemento Chimborazo Tipo HE Industrial (fig. a: presentación del cemento, fig. b: control de calidad)*



### 3.4.2. Agua.

Aguapen EP es una empresa proveedora de agua ubicada en Ecuador. Su principal función es suministrar agua potable y servicios relacionados a través de su red de distribución a clientes residenciales, comerciales e industriales. (ver figura 6). El agua suministrada por Aguapen EP cumple con los estándares de calidad y normativas establecidas por las autoridades sanitarias.

### **3.4.2.1. *Algunas características de esta agua pueden incluir.***

Es importante destacar que los detalles específicos sobre el tratamiento, calidad y características del agua proporcionada por Aguapen EP pueden variar según la ubicación y las regulaciones locales. Por lo tanto, se recomienda verificar la información proporcionada por la empresa y las autoridades locales para obtener detalles precisos sobre el agua suministrada en una determinada área.

- a) **Potabilidad.** El agua proporcionada por Aguapen EP es tratada y sometida a procesos de purificación para garantizar que cumpla con los requisitos de potabilidad. Se realizan análisis regulares para asegurar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos, lo que garantiza que sea segura para el consumo humano.
  
- b) **Abastecimiento constante.** Aguapen EP se esfuerza por proporcionar un suministro de agua confiable y continuo a sus clientes. Mantienen una infraestructura adecuada que incluye pozos, plantas de tratamiento y redes de distribución para asegurar que el agua esté disponible en todo momento.
  
- c) **Servicio al cliente.** Además de proveer agua potable, Aguapen EP ofrece servicios de atención al cliente para responder consultas, atender solicitudes y resolver problemas relacionados con el suministro de agua. También pueden brindar asesoramiento sobre el uso eficiente del agua y prácticas de conservación.
  
- d) **Cumplimiento normativo.** Como empresa proveedora de agua, Aguapen EP cumple con las regulaciones y normativas establecidas por las autoridades competentes en materia de calidad del agua y servicios de abastecimiento. Esto garantiza que se sigan los protocolos adecuados en el tratamiento y distribución del agua.

## Figura 6

*Empresa Pública Municipal Mancomunada*



### 3.4.3. Espumante.

La formulación química del agente espumante se fundamenta en la utilización de tensioactivos que, al ser incorporados en la mezcla de hormigón celular, tienen la capacidad de generar burbujas diminutas que mejoran la estabilidad del aire y disminuyen la tensión superficial.

Dentro del alcance de esta indagación científica, se procedió a la utilización de un conjunto exhaustivo y meticulosamente seleccionado de cuatro variantes distintivas de agentes espumantes. Las presentes entidades se describen con una meticulosa minuciosidad en los siguientes párrafos, donde se expondrán sus propiedades intrínsecas y sus implicaciones en el contexto de este estudio.

- a) **RV 2000-2 (Espumante 1):** Se trata de un agente espumante que contiene estabilizantes y espesantes, perteneciente a la categoría de surfactantes aniónicos. El estabilizante de espuma desempeña un papel fundamental al permitir que las burbujas de aire se mantengan estables y sean capaces de resistir las fuerzas físicas y las interacciones químicas presentes durante el proceso de mezclado.

En la Tabla 3 se presentan los datos técnicos específicos del primer agente espumante, mientras que en la Tabla 4 se detallan los ingredientes proporcionados en la ficha técnica suministrada por el fabricante del mismo.

**Tabla 3**  
*Datos técnicos de RV 2000-2 espumante #1*

<b>Características</b>	
<b>Apariencia</b>	Líquido viscoso
<b>Color</b>	Blanco
<b>PH (25° C)</b>	9,5
<b>Solubilidad</b>	Agua
<b>Densidad</b>	En proceso de realización de ficha técnica.
<b>Rendimiento</b>	0.09

*Nota: Ficha técnica del RV 2000-2*

**Tabla 4**  
*Componentes del RV 2000-2*

<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: Ficha técnica del RV 2000-2*

**Figura 7**

*Figura a: Agente espumante RV 20000-2, figura b: vista microscópica*



*Nota: muestras tomadas de laboratorio*

**b) KV-Lite AFFF (Espumante 2):** Es comúnmente utilizado para extinguir incendios, el espumante 2 es un concentrado de espuma formadora de película acuosa (AFFF) que tiene la capacidad de formar una película en la superficie del combustible. Esta característica permite apagar rápidamente las llamas y sellar la superficie del material inflamable. La formulación del espumante utiliza tensioactivos fluorados a base de C6, que son respetuosos con el medio ambiente, así como tensioactivos de hidrocarburo y estabilizadores para brindar un rendimiento óptimo y una larga vida útil. La presencia del surfactante fluorado en la espuma resulta en un coeficiente de dispersión positivo en la superficie del combustible.

En la Tabla 5 se presentan los datos técnicos específicos del espumante 2, mientras que en la Tabla 6 se detallan los ingredientes proporcionados en la ficha técnica correspondiente al producto.

**Tabla 5**

*Datos técnicos del KV-LITE AFFF 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: Ficha técnica del KV-LITE AFFF*

**Tabla 6**

*Componentes del KV-LITE AFFF*

<b>INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES</b>
--

Ingredientes	No. CAS	Concentración (% w/w)
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

*Nota: Ficha técnica del KV-LITE AFFF*

### Figura 8

*Figura a: KV-LITE Espumante#2, figura b: vista microscópica*



*Nota: Nuestras tomadas del laboratorio*

- c) **Sika Poro Plus (Espumante 3):** El agente espumante 3 se utiliza en la fabricación de hormigón celular y encuentra aplicación en diversas áreas, como rellenos para nivelaciones de pisos, excavaciones de zanjas para tendido de conductos y tuberías antiguas, minas, excavaciones alrededor de edificios y piscinas, así como en la construcción de capas aislantes térmicas tanto sobre como debajo de edificios. También es empleado en la producción de elementos prefabricados que no requieran altas resistencias mecánicas, entre otros usos.

En la Tabla 7 se presentan los datos técnicos específicos del agente espumante 3, mientras que en la Tabla 8 se detallan los ingredientes correspondientes, según la información proporcionada en la ficha técnica suministrada por el fabricante.

**Tabla 7***Datos técnicos del Sika Poro Plus 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: Ficha técnica del Sika Poro Plus***Tabla 8***Compuestos del Sika Poro Plus*

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

*Nota: Ficha técnica del Sika Poro Plus***Figura 9***fig. a: Sika Poro Plus, fig. b: vista microscópica*

**d) Jaboncillo - Sapindus Saponaria (Espumante 4):** el espumante 4 es un compuesto en base al surfactante natural Sapindus Saponaria, también conocido como árbol de jabón o jaboncillo que es muy conocido en el Ecuador. Es una planta que se utiliza tradicionalmente como fuente natural de saponinas, compuestos químicos con propiedades espumantes y detergentes.

Estas saponinas presentes en Sapindus Saponaria le confieren varias propiedades como espumante. Es importante tener en cuenta que las propiedades espumantes de Sapindus Saponaria pueden variar según el método de extracción y la concentración utilizada. Además, es recomendable realizar pruebas y ajustes en las formulaciones para determinar la cantidad adecuada de extracto de Sapindus Saponaria necesario para lograr la calidad y la cantidad deseada de espuma en diferentes aplicaciones.

**Tabla 9**

*Datos técnicos del espumante en base al Jaboncillo (Sapindus Saponaria)*

<b>Características</b>	
<b>Apariencia</b>	Ligeramente viscoso
<b>Color</b>	Amarillo claro
<b>PH (25° C)</b>	3,7
<b>Solubilidad</b>	Agua
<b>Densidad</b>	0,95 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Rendimiento</b>	0.05

*Nota: Tomado de (Flechas, 2009)*

**Tabla 10**

*Componentes del Jaboncillo (Sapindus Saponaria)*

INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES		
Ingredientes	No. CAS	Concentración (% w/w)
Índice de yodo	-----	118 g / 100 g
Acidez	-----	0,27%
Índice de saponificación	-----	192
Índice de refracción	-----	1,4803 a 25°C

*Nota: Tomado de (Flechas, 2009)*

Para la obtener las características de los materiales se realizaron ensayos con la finalidad de diseñar un hormigón celular de 400 kg/m<sup>3</sup>.

A continuación, se presenta los ensayos de laboratorio elaborados:

1. Obtención del agregado fino.
2. Ensayos realizados al agregado: granulometría, contenido de humedad, porcentaje de absorción, peso volumétrico suelto peso.
3. Peso volumétrico de cada espumante.
4. Identificación de componentes de los espumantes

#### ***3.4.3.1. Dosificación del espumante (Sapindus saponaria).***

**a) Recolección de la materia prima.** Se recolectaron los frutos del jaboncillo en el cantón Rocafuerte, Provincia de Manabí, donde esta planta es abundante. Con el fin de obtener las saponinas, se seleccionaron los frutos en un estado de madurez intermedia, lo que facilita la extracción del pericarpio, parte de la cual contiene las saponinas que se desean obtener.

**b) Preparación de la solución de Sapindus Saponaria.** Se trata de un procedimiento de extracción sólido-líquido, en el cual el material sólido

contiene una variedad de compuestos solubles en el líquido de extracción, conocido como fase líquida. Estos compuestos se extraen directamente de la materia prima utilizada y del líquido de extracción. Los productos obtenidos a través de la maceración incluyen un sólido sin esencias y el extracto en sí mismo.

Este método se emplea debido a que la planta contiene principios activos que podrían perderse o sufrir alteraciones si se expone a temperaturas elevadas, o si el disolvente se ve afectado por estas condiciones. Ver anexo 6

***Ingredientes:***

- ✓ 37,8 gr frutos del jaboncillo
- ✓ 1000 ml de agua
- ✓ 750 gr de aloe vera

***Proceso de preparación del líquido espumante para un litro***

1. Se toma 37,8 gr del fruto de la materia prima, previamente lavados para evitar cualquier tipo de contaminación.
2. Se mide 570 ml de agua.
3. Se procede a hervir por 10 minutos aproximadamente.
4. Una vez hervido el fruto sin semilla, procedemos a licuar por unos 3 minutos.
5. Se cierne el fruto licuado a priori para evitar grumos.
6. Se pesa 430 gr de aloe vera (solo el zumo).
7. Ya cernido el fruto, procedemos a verterlo por una vez más a la licuadora junto con los 430 gr de aloe vera.
8. Se pasa por el tamiz #200 el compuesto y se completa con agua hasta obtener un litro de solución espumante como se observa en la figura 10.

**Figura 10**

*Elaboración del líquido espumante*



- c) **Prueba de espuma.** Radica en la medición de la espuma formada al agitar una solución de tensioactivo en agua, la espuma formada por la dispersión de un gas en un líquido o sólido. Las bombas de aire pueden ser de cualquier tamaño, desde coloidales hasta macroscópicas como en el caso de las pompas de jabón. El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad espumante de un tensioactivo al ser agitado en agua. Para llevar a cabo esta evaluación, se empleó una metodología experimental específica. Tras un período de 24 horas, se registró y analizó el nivel de estabilidad alcanzado por la espuma formada durante el ensayo.

**Figura 11**

*Duración de la espuma después de 24 horas*



### 3.4.4. Obtención de árido fino.

Se trata de un agregado obtenido mediante la desintegración natural o artificial de rocas, con diferentes tamaños de partículas que pasan por un tamiz de 3/8 de pulgada y cumplen con las normas ASTM C33/ C33M, C144, C330/ C330M o C332. Este agregado constituye la mitad del volumen y peso de la mezcla utilizada en la fabricación de hormigón celular. En este proyecto, el agregado fino utilizado proviene de la cateria El Triunfo en la provincia de Guayas, y se someterá a ensayos de acuerdo con las normas correspondientes.

#### 3.4.4.1. Granulometría del agregado fino.

De acuerdo con las directrices del ACI 523.1R-06, el agregado fino utilizado en la producción de concreto celular debe cumplir con los requisitos establecidos en las normas ASTM C33/ C33M, C144, C330/ C330M o C332. Las especificaciones técnicas detalladas del agregado fino se encuentran en la siguiente tabla.

La granulometría del agregado debe cumplir con los parámetros establecidos para garantizar una mejor cohesión y manejabilidad en cualquier tipo de concreto.

**Tabla 11**

*Especificaciones técnicas del agregado fino según las normas 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*

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

El ensayo de granulometría implica pasar una muestra representativa del agregado a través de una serie de tamices con aberturas ordenadas de forma decreciente. El módulo de finura es una constante que indica el grosor promedio de las partículas que componen el agregado.

**b) Los equipos y materiales necesarios para llevar a cabo el ensayo de granulometría son los siguientes.**

- ✓ Tamices correspondientes para el agregado fino, según la normativa ASTM C136.
- ✓ Un horno que mantenga una temperatura estable de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Una brocha.
- ✓ Un cepillo.
- ✓ Un equipo de tamizado vibratorio.

**c) El procedimiento para realizar el ensayo es el siguiente.**

1. Se calienta en el horno una cantidad específica de arena a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Una vez secada, se toman 1200 g de arena para realizar el ensayo de granulometría.
2. Se selecciona los tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y el fondo, de acuerdo con la norma ASTM C136 (ver Figura 12).
3. Se coloca los tamices en el orden indicado en el paso anterior.
4. Se introduce el material a tamizar en los tamices y procedemos a realizar movimientos vibratorios manuales durante aproximadamente un minuto.
5. Se transfiere el material a la máquina vibratoria.
6. Se recoge el material retenido en cada tamiz en recipientes separados, utilizando el cepillo y la brocha hasta obtener todo el material retenido en los tamices.

## Figura 12

*Ensayo granulométrico del agregado fino (fig. a: peso de agregado fino, fig. b: tamización del agregado)*



*Nota: Proceso de ensayo de granulometría por los tamices según la norma*

- d) Los cálculos para determinar el porcentaje retenido y el módulo de finura del agregado fino se realizan de la siguiente manera.**

El porcentaje retenido se obtiene dividiendo el peso retenido en un tamiz por el peso total de la muestra, y luego multiplicando el resultado por 100, como se muestra en la ecuación (1).

**% Retenido ( $R$ )**

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

Por otro lado, el módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados y dividiendo el resultado entre 100, según se muestra en la ecuación (2).

### ***Módulo de finura (MF)***

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

#### **3.4.4.2. Contenido de humedad según la norma NTE INEN 862 (ASTM C-566).**

Mediante este ensayo, se determinó el porcentaje de humedad presente en el agregado fino que se utilizó posteriormente en la mezcla de hormigón celular.

#### **a) Equipos y materiales necesarios para realizar el ensayo de contenido de humedad.**

- ✓ Horno con temperatura estable de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Agitador metálico.
- ✓ Balanza.
- ✓ Recipiente.
- ✓ Mezcladora manual para mortero.

#### **b) Procedimiento.**

1. Se pesa una muestra del agregado fino.
2. La muestra se coloca en el horno y se deja secar a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$
3. Al día siguiente, se retira la muestra del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente durante unos minutos.
4. Se determina el peso de la muestra seca.

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

El porcentaje de humedad se calcula restando el peso de la muestra seca del peso de la muestra húmeda, y luego dividiendo esta diferencia entre el peso

de la muestra seca, y finalmente multiplicando por 100, como se muestra en la ecuación (3). En la figura 13 se muestra el proceso de medición de las muestras para el cálculo de la humedad.

$$\text{Humedad} = \left( \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra seca}} \right) \times 100 \quad (3)$$

**Figura 13**

*Ensayo de humedad*



#### **3.4.4.3. Densidad saturada superficialmente seca y absorción del agregado fino según norma NTE INEN 856 (ASTM C -128).**

La determinación del volumen preciso de agregado fino requerido en la composición de hormigón celular se basa en la medición de la densidad de superficie saturada. Esta magnitud se obtiene mediante el proceso de inmersión del agregado seco en agua durante un intervalo de tiempo definido, permitiendo así la posterior evaluación del valor de absorción. Este parámetro resulta de vital importancia en la elaboración de estimaciones y cálculos precisos para la formulación del hormigón celular, garantizando la optimización de su comportamiento y características estructurales.

**a) Equipos y materiales necesarios para realizar el ensayo de densidad saturada superficialmente seca y absorción:**

- ✓ Picnómetro de 0.1 cm<sup>3</sup>.
- ✓ Horno con temperatura estable 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 las dimensiones requeridas según la norma.

**b) Procedimiento:**

1. Se pesa una cantidad especificada de 500 g según la normativa.
2. La muestra se coloca en el horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas.
3. Después de enfriar, se agrega una cantidad adecuada de agua y se deja reposar por un tiempo determinado.
4. Se coloca la muestra sobre una superficie plana para que las partículas del agregado fino se adhieran entre sí.
5. Se llena el molde en forma de cono truncado con el material obtenido. (ver la fig. 7)
6. Se aplica 25 golpes en la superficie del material.
7. Se añade más agregado fino y repetimos los 25 golpes hasta que el cono truncado colapse.
8. Se Llena el picnómetro con agua hasta una calibración específica y luego agregamos el material obtenido en el paso anterior.
9. Se elimina el aire presente en el picnómetro mediante el uso de glicerina.
10. Se retira el agregado fino del picnómetro.
11. Se reserva la muestra en un recipiente y la introducimos en el horno a 110°C durante 24 horas.
12. Al día siguiente, se pesa la muestra y la dejamos reposar por un período de tiempo, luego pesamos la cantidad restante del agregado fino.

**c) Cálculos para obtener la densidad saturada superficialmente seca y la absorción:**

La densidad saturada superficialmente seca se calcula según la ecuación 4.

$$\text{Densidad} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (4)$$

**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 5.

$$\text{Absorción} = \left( \frac{S - A}{A} \right) \times 100 \quad (5)$$

**Dónde:**

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

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

#### **Figura 14**

*Ensayo de densidad superficialmente saturada seca y absorción*



*Nota: Desarrollo de los ensayos de acuerdo con la norma ASTM C-128*

### **3.2. METODOLOGIA DEL O.E2.: Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> utilizando diferentes agentes espumantes para realizar probetas y ensayarlas en el laboratorio.**

Para el diseño de la mezcla de hormigón celular, se utilizó el método gravimétrico según las pautas establecidas en la norma ASTM C138. Esto se enfoca en determinar el peso específico inicial del mortero en lugar de la dosificación individual de sus componentes, lo cual lo distingue de otros métodos. En este método, se realiza un cálculo preciso que involucra la determinación de la cantidad de mortero convencional y la cantidad correspondiente de espuma necesaria para lograr un diseño de 1 m<sup>3</sup> de mortero celular, teniendo en cuenta diversas masas unitarias. En otras palabras, el cálculo se basa en la masa unitaria promedio del mortero convencional, tal como se establece en el estudio de (Acosta López, 2003). A continuación, se presenta un resumen conciso de la metodología empleada para llevar a cabo los ensayos:

- ✓ Diseño de la mezcla con la incorporación de aire con cada uno de los 4 agentes espumantes respectivamente.
- ✓ Elaboración de probetas de hormigón para ensayos
- ✓ Ensayo en estado fresco.
- ✓ Resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 días.
- ✓ Verificación del cambio de volumen del concreto.

#### **3.2.1. Diseño de la mezcla de hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> con diferentes agentes espumantes.**

En el proceso de preparación de la mezcla de hormigón celular, se empleó el método gravimétrico, siguiendo las pautas establecidas por la norma ASTM C138/C138M (2014). Este método implica el cálculo preciso de la cantidad de mortero convencional, como se indica en la ecuación 6, y la correspondiente cantidad de espuma según se muestra en la ecuación 7, para lograr un diseño de 1m<sup>3</sup>

de hormigón celular con diferentes masas unitarias, tal como se menciona en el estudio de Acosta López (2003).

A continuación, se muestra la dosificación del mortero celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

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

$$MU = 400 \frac{kg}{m^3}, \text{ de mortero celular}$$

$$Vol \text{ Mortero convencional} = \frac{MU \text{ mortero celular}}{MU \text{ mortero convencional}} \quad (6)$$

$$Vol \text{ Mortero convencional} = \frac{400 \text{ kg/m}^3}{2250 \text{ kg/m}^3}$$

$$Vol \text{ Mortero convencional} = 0.178$$

$$Vol \text{ Espuma} = 1m^3 - Vol \text{ Mortero convencional} \quad (7)$$

$$Vol \text{ Espuma} = 1m^3 - 0.178 m^3$$

$$Vol \text{ Espuma} = 0.822 m^3$$

Con base en la información anterior, se realiza el cálculo del volumen de mortero convencional requerido para obtener 1m<sup>3</sup> de hormigón celular utilizando la ecuación 6. Asimismo, se determina el volumen de espuma necesario utilizando la ecuación 7, el cual dependerá de la densidad deseada para la mezcla.

En la Tabla 12 se muestra los cálculos estimados para la fabricación de hormigón D400

**Tabla 12**

*Valores estimados para la fabricación del hormigón celular*

<b>Mortero Convencional</b>	0,178
<b>Relleno (espuma)</b>	0,822

En la Tabla 13 se presentan las recomendaciones del ACI respecto a las densidades y resistencias a los 28 días de curado, así como las fuerzas compresivas esperadas. Es importante destacar que se realizaron ensayos experimentales previos para determinar las dosificaciones óptimas en las cuales los espumantes funcionaran de manera eficiente. Se observó que en dosificaciones con una proporción mayor de arena que de cemento, la permeabilidad del hormigón celular se veía afectada negativamente.

**Tabla 13**

*Diseño para hormigón celular D400*

DENSIDAD		RANGO HABITUAL DE COMPRESIÓN	
		FUERZA A LOS 28 DÍAS	
Lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	psi	MPa
20 a 25	320 a 400	70 a 125	0,48 a 0,86
25 a 30	400 a 480	125 a 225	0,86 a 1,55

*Nota: tabla obtenida de (ACI 523.1R-06, 2015)*

La Tabla 14 nos proporciona una serie de dosificaciones recomendadas para el uso de D400 en la fabricación de hormigón celular. Sin embargo, en el folleto no se menciona específicamente el tipo de espuma utilizado en estas dosificaciones. Por lo general, los fabricantes de espumantes especializados en hormigón celular proporcionan sus propias recomendaciones de dosificación para lograr los mejores resultados.

**Tabla 14**

*Dosificación para D400 sugerida*

DENSIDAD (KG/M <sup>3</sup> )	CEMENTO (KG)	ARENA (KG)	AGUA (LITROS)	ESPUMANTE S/B
400	160	160	120	0.5

*Nota: Nuevas tecnologías en concreto, concreto celular.*

### **3.2.2. Propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón.**

#### **3.2.2.1. Cálculo de asentamiento (Cono de Abraham).**

Los parámetros necesarios para realizar adecuadamente el ensayo de asentamiento en el hormigón fresco se encuentran establecidos en la norma (NTE INEN 1578, 2020).

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

- ✓ Molde
- ✓ Varilla de compactación
- ✓ Cucharón
- ✓ Flexómetro

#### **b) Procedimiento.**

1. Se moja el molde asegurándose de que esté colocado sobre una superficie plana que no absorba agua. El molde se sujeta firmemente durante el proceso de llenado, manteniendo un equilibrio sobre los dos soportes.
2. Se procede a llenar el molde utilizando un cucharón. El llenado se realiza en tres capas, cada una aproximadamente un tercio del volumen total del molde.
3. Se compacta cada capa golpeándola 25 veces con la varilla de compactación, asegurándonos de distribuir uniformemente la mezcla. Las siguientes dos capas también se compactan, evitando que la varilla penetre en las capas ya compactadas.
4. Después de llenar la última capa, se permite que el hormigón sobresalga ligeramente por encima del molde, una vez que se haya compactado la capa superior.
5. Para nivelar la superficie del hormigón, pasamos la varilla de compactación por el borde superior, rodándola sobre la superficie.

6. Por último, se retira el molde de manera vertical y se mide el asentamiento, que es la diferencia en altura entre la parte superior del molde y la superficie superior del hormigón. Es importante destacar que este ensayo debe realizarse en aproximadamente 3 minutos, desde el inicio del llenado hasta el retiro del molde.

#### **3.2.2.2. Mesa de flujo norma (INEN 2500).**

El ensayo de Cono de Abraham se empleó con el propósito de evaluar la consistencia de la mezcla de hormigón celular, la cual se mide a través del aumento en los diámetros del molde después de seguir una secuencia de movimientos establecida.

#### **a) Los equipos y materiales necesarios para llevar a cabo el ensayo de Cono de Abraham incluyen.**

- ✓ Una mesa de flujo que cumpla con la Norma ASTM C230.
- ✓ Una espátula.
- ✓ Un molde de flujo con dimensiones de 71.05 mm de diámetro superior, 98.45 mm de diámetro inferior y 51.05 mm de altura.
- ✓ Un pistón pequeño.

#### **b) Procedimiento.**

1. Limpiar la superficie de la mesa donde se colocará la mezcla de hormigón.
2. Colocar el molde de flujo en el centro de la plataforma.
3. Verter una capa de aproximadamente 25 mm de espesor de la mezcla en el molde y compactarla pisándola 20 veces con el compactador.
4. Llenar el molde con la mezcla restante y compactarla de la misma manera que se hizo con la capa anterior.
5. Nivelar al ras de la superficie de la mezcla utilizando una espátula.
6. Retirar el molde y secar la superficie de la plataforma para eliminar cualquier exceso de agua.

7. Dejar caer la mezcla desde una altura de 13 mm utilizando la mesa de flujo, golpeando 25 veces durante 15 segundos.
8. Determinar la fluidez de la mezcla calculando el promedio de los diámetros medidos en las líneas indicadas en la plataforma.

**c) Cálculos para obtener el porcentaje de fluidez de la mezcla de hormigón HC D400:**

En la ecuación 8 se explica la fórmula a utilizar para calcular el porcentaje de fluidez y se detalla la composición de dicha fórmula.

$$\%F = \frac{DI - A}{A} \quad (8)$$

Donde:

- **%F**= representa el porcentaje de fluidez de la mezcla.
- **DI**= se refiere al diámetro promedio obtenido a partir de las cuatro mediciones realizadas, expresado en milímetros (mm).
- **A**= representa el diámetro real de la base del molde, también en milímetros (mm).

**3.2.2.3. Elaboración de cilindros de hormigón.**

- a) Para ajustar el hormigón celular a las necesidades de la obra, se decidió establecer la densidad aparente característica basándose en su resistencia.
- b) Se elige el tipo de cemento adecuado, en este caso el Chimborazo He Industrial, en función de los requisitos de la obra.
- c) Se determina la relación mínima necesaria entre agua y cemento para lograr una cohesión suficiente entre los agregados y el cemento.

- d)** Se calculan las cantidades necesarias de agua, cemento, árido fino y espuma para producir un metro cúbico de hormigón celular, junto con los volúmenes correspondientes para realizar los ensayos necesarios.
- e)** Se preparan los moldes aplicando grasa para evitar que la mezcla se adhiera a ellos.
- f)** Se ajusta la generadora de espuma para obtener una densidad de espuma de 60 gramos por litro, siguiendo las pautas de la ACI 523, que permite trabajar en el rango de 30 a 80 gramos por litro.
- g)** Se realiza el ensayo de fluidez de la mezcla.
- h)** Se lleva a cabo la elaboración del hormigón celular. (Ver anexo 4)
  - 1. Se prepara el recipiente con agua en cantidad suficiente para la mezcla requerida de hormigón celular, asegurándonos de humedecerlo adecuadamente.
  - 2. Se añade la cantidad necesaria de agua, previamente calculada según la relación agua-cemento.
  - 3. Se incorpora el cemento al recipiente que contiene el agua.
  - 4. Se procede a mezclar utilizando una batidora manual durante aproximadamente 2-3 minutos, hasta que no queden grumos visibles en el fondo del recipiente.
  - 5. Se agrega la arena calculada a la mezcla de agua y cemento, y continuamos batiendo a baja velocidad durante un período determinado.
  - 6. Se introduce la cantidad calculada de espuma en la mezcla, mezclando durante no más de 2 minutos.
  - 7. Se coloca la mezcla resultante en los moldes normalizados según los ensayos que se vayan a realizar.
  - 8. Se evalúa la consistencia de la mezcla de hormigón celular en la mesa de flujo.

9. En caso de utilizar espumantes especializados para hormigón celular, seguimos las instrucciones proporcionadas por los fabricantes.

#### **3.2.2.4. Módulo de elasticidad teórico.**

El parámetro esencial en el diseño estructural de concretos es el módulo de elasticidad, el cual determina las tensiones y los desplazamientos en el material. Por lo general, este parámetro se evalúa mediante la realización de pruebas de compresión uniaxial en muestras. Según un estudio realizado por Galobardes et al. (2014)

En el caso específico del mortero celular, su módulo de elasticidad estático es notablemente inferior al del concreto de peso normal. Los valores de este parámetro varían entre 1 y 8 KN/mm<sup>2</sup> para densidades que oscilan entre 500 y 1500 Kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, según un estudio realizado por (Turro et al., 2009).

De acuerdo con la investigación realizada por Panesar & Materials (2013), se observó que a medida que aumenta el porcentaje de aire en la mezcla del mortero celular, su módulo de elasticidad estático disminuye debido a los cambios en la densidad y, por ende, en la resistencia a la compresión del material. Se encontró una relación directa entre el módulo de elasticidad estático y la resistencia a compresión. La línea de tendencia en la regresión lineal indica que el módulo de elasticidad está relacionado con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del mortero celular.

En resumen, el módulo de elasticidad es un parámetro fundamental en el diseño estructural de concretos, y en el caso específico del mortero celular, su valor está influenciado por la cantidad de aire en la mezcla y se relaciona directamente con la resistencia a compresión. En la Tabla 15 se presenta un resumen de fórmulas teóricas que permiten calcular el módulo de elasticidad en base a la resistencia a compresión del mortero celular.

**Tabla 15***Ecuaciones de predicción del módulo de elasticidad teórico para mortero celular*

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

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

*Nota: Tabla tomada del artículo Narayanan & Ramamurthy (2009)*

$$E = 33W^{1.5}\sqrt{f'_c} \quad (9)$$

Utilizando la fórmula descrita en la ecuación 9, procedimos a calcular el módulo elástico teórico para los espumantes 1 y 2.

$$E_1 = 33 (400)^{1.5} \sqrt{1.05}$$

$$E_1 = 27914.68 \text{ KN/mm}^2$$

$$E_2 = 33(400)^{1.5} \sqrt{1.69}$$

$$E_2 = 35414.52 \text{ KN/mm}^2$$

### **3.2.2.5. Resistencia a la compresión.**

El ensayo realizado sigue las pautas establecidas en la norma (NTE INEN 1573, 2020), que establece los parámetros para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón. El ensayo implica aplicar una carga axial al espécimen cilíndrico hasta que este alcance el nivel de carga prescrito antes de que ocurra la falla. Se prepararon un total de 9 probetas cilíndricas de hormigón con dimensiones de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura para cada diseño de mezcla, las cuales fueron ensayadas a las edades de 7, 14 y 28 días.

Es importante realizar el ensayo tan pronto como sea posible después de retirar las probetas de su lugar de curado. En este caso, el ensayo se llevó a cabo utilizando una prensa hidráulica semiautomática ubicada en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Se aplica una carga de forma continua hasta que finalmente el espécimen se rompe. Los resultados obtenidos se utilizan como base para el control de la dosificación del hormigón, evaluar su calidad y determinar si cumple con las especificaciones de la norma. La Tabla 16 muestra la tolerancia de tiempo permitida en este proceso.

**Tabla 16**

*Tiempo de tolerancia admisible para ensayar las probetas*

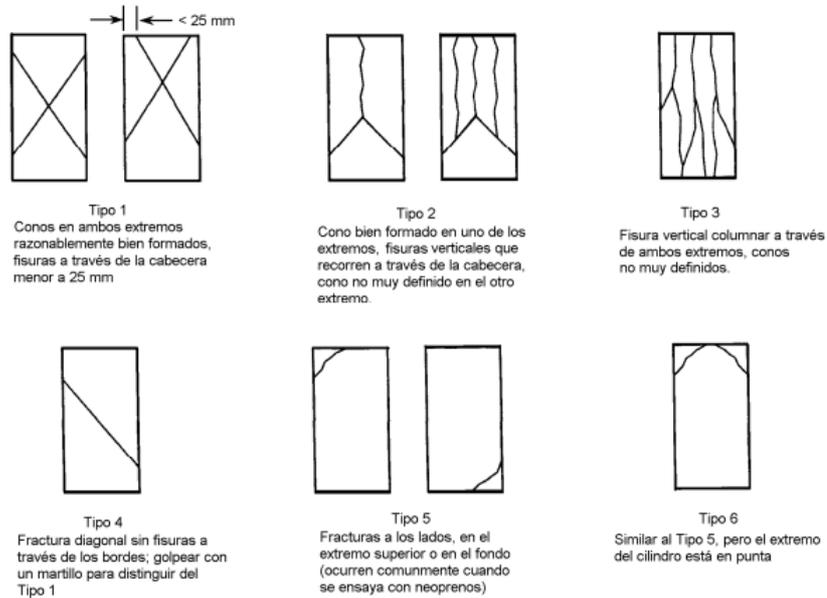
<b>EDAD DE ENSAYO</b>	<b>TOLERANCIA ADMISIBLE</b>
3 días	2 horas
7 días	6 horas
17 días	12 horas
28 días	20 horas

*Nota: Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico (NTE INEN 1 573:2010)*

Dentro del contexto del ensayo de resistencia a la compresión, es de imperante necesidad la ejecución de un proceso de fracturación altamente estandarizado de los cilindros sometidos a análisis. Este riguroso procedimiento posibilita la clasificación meticulosa de los especímenes en función de criterios predefinidos y esenciales para la interpretación precisa de los resultados. En la Figura 15, a continuación expuesta, se presentan de manera visual y taxonómica diversos arquetipos de fracturas, cada uno de los cuales refleja aspectos distintivos y reveladores del comportamiento intrínseco de los materiales bajo compresión.

## Figura 15

### *Tipos de rotura*



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

### **3.3. METODOLOGIA DEL O.E3.: Ejecutar un análisis comparativo de los resultados del comportamiento físico-mecánico de las probetas mediante cuadros estadísticos que permitan seleccionar la mezcla con mejores propiedades según la norma ACI 523.1R-06 para evaluar los costos de producción de esta.**

La evaluación de costos implica descomponer el costo por unidad de medida de cada elemento, identificando los rendimientos, costos y cantidades de los insumos o materiales utilizados. De esta manera, se busca determinar los costos asociados a los diferentes componentes, como materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos, dentro del rubro. Este análisis exhaustivo permite establecer con precisión los costos involucrados en cada etapa del proyecto o proceso, facilitando la toma de decisiones informadas y la identificación de posibles áreas de ahorro o eficiencia de las características del hormigón celular.

### 3.4. OPERACIÓN DE VARIABLES

En la tabla 17, se presentará un cuadro detallado que muestra las operaciones realizadas con las variables empleadas en el proyecto. Esta información será de gran utilidad para comprender y analizar las diferentes manipulaciones y cálculos efectuados en relación con las variables estudiadas.

**Tabla 17**

*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.	Densidad	gr/lt
			Estabilidad	Densidad	Min
				Rendimiento	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:* (Alomoto & Mejillones, 2022)

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

En este capítulo, se presentarán los resultados obtenidos a partir de un diseño experimental que involucra la fabricación de especímenes de concreto con una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  a los 28 días, incorporando aire en los hormigones. El objetivo es analizar el proceso de diseño y las propiedades mecánicas a compresión del cemento Chimborazo tipo HE industrial de uso general, utilizando arena negra como agregado fino y cuatro tipos diferentes de espumas. Los resultados de resistencia se han registrado a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados revelan que el hormigón de diseño  $400 \text{ kg/m}^3$  utilizando arena negra como agregado fino no alcanzaban la resistencia mínima deseada y en muchos casos presentaban asentamientos considerables, por lo que se optó por realizar los ensayos sin el uso del agregado fino, obteniendo una mezcla tipo cemento celular de densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  que con el espumante KV Lite AFFF JAB alcanzó una resistencia máxima a la compresión de 1.51 MPa, lo cual representa una eficiencia del 64.6%.

Esto indica que supera las expectativas en comparación con el hormigón fabricado con el espumante RV 2000-2 JAB, el cual alcanzó una resistencia a la compresión de 1.08 MPa. Sin embargo, es importante mencionar que el espumante Sika Poro Plus, según las especificaciones técnicas, solo es adecuado para diseños con densidades de  $1500 \text{ kg/m}^3$ , por lo que no fue posible obtener el producto  $400 \text{ kg/m}^3$  a pesar de intentar ajustar las dosificaciones. El espumante Sapindus Saponaria no logró generar una espuma con las características adecuadas para la fabricación de cilindros de hormigón celular de manera independiente.

Las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para la fabricación de bloques establecen una resistencia a la compresión mínima de 0.82 MPa. Bajo

este criterio, el hormigón fabricado con el espumante RV 2000-2 JAB supera las expectativas. Se sugiere explorar la posibilidad de aumentar la dosificación de espumante KV Lite AFFF JAB o considerar el uso de aditivos en la fabricación de los bloques como alternativas para mejorar las propiedades del hormigón.

#### **4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, Realizar la caracterización de materiales empleados para la mezcla del hormigón, a través de fichas técnicas y ensayos realizados en el laboratorio que permitan conocer su comportamiento.**

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

Con base en las normas ASTM C33/C33M, C144, C330/C330M o C332, que son especificaciones técnicas para el agregado fino, se han obtenido los resultados de la granulometría que se detallan en la tabla 18. Utilizando estos valores, se procedió a graficar la curva granulométrica correspondiente, como se muestra en la figura 16. Se observa que la granulometría de la arena presenta una ligera desviación en los tamices No. 16 y 30. En cuanto al módulo de finura, se obtuvo un valor de 2.33, el cual se encuentra dentro de los rangos requeridos según la norma.

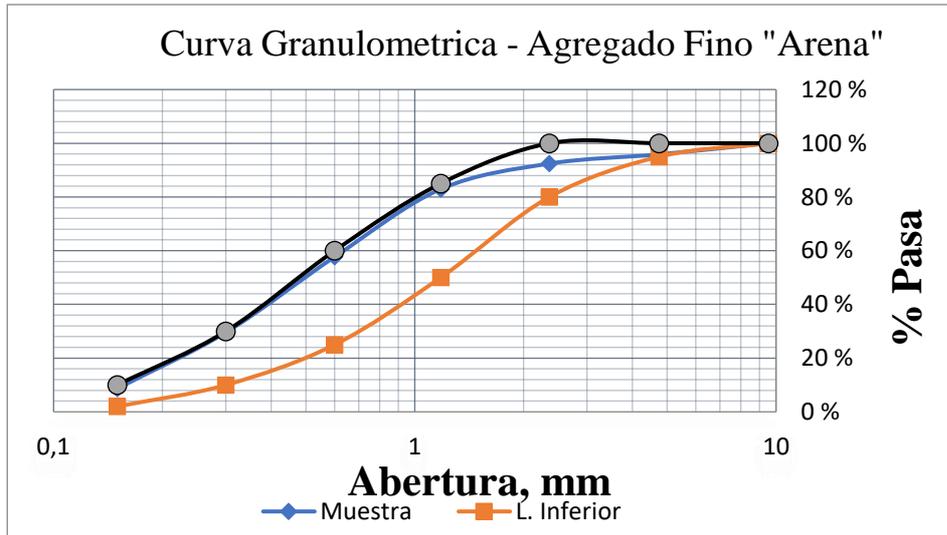
**Tabla 18**

*Caracterización del agregado fino determinado para fabricación del hormigón celular*

TAMIZ N°	MM	RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	% PASA	A.S.T.M.	
3/8	9,53	0	0,00	0,00	100,00	100	100
No 4	4,75	0,0548	4,13	4,13	95,87	95	100
No 8	2,36	0,0457	3,44	7,57	92,43	80	100
No 16	1,18	0,126	9,49	17,06	82,94	50	85
No 30	0,60	0,335	25,24	42,30	57,70	25	60
No 50	0,30	0,373	28,10	70,40	29,60	10	30
No 100	0,15	0,278	20,94	91,34	8,66	2	10

FONDO	0,115	8,66	100,00	0,00	0	0
<b>TOTAL</b>	1,328	100,00	232,79	<b>Módulo de Finura</b>		2,33

**Figura 16**  
*Curva granulométrica del agregado fino*



#### 4.1.2. Resultados del peso volumétrico.

De acuerdo con la norma NTE INEM 858 (ASTM C-29), se presentan a continuación los resultados obtenidos, los cuales se detallan en la tabla 19, cumpliendo con los requisitos establecidos por dicha norma. Los resultados reflejan las mediciones realizadas según los parámetros especificados en el método de ensayo.

**Tabla 19**

*Resultados de Peso Volumétrico del agregado fino*

Material	Masa unitaria (Kg/m <sup>3</sup> )
Arena	1488,57

#### 4.1.3. Resultados de densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino.

Siguiendo las pautas establecidas en la norma NTE INEN 856, que se basa en la norma ASTM C128, se llevó a cabo un ensayo del agregado fino. Los resultados obtenidos, que incluyen los datos de densidad saturada superficialmente seca y absorción, se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Densidad saturada superficialmente seca y absorción de agregado fino*

<b>Material</b>	<b>DSSS</b>	<b>Unidad</b>	<b>Absorción</b>	<b>Unidad</b>
Arena	2359	kg/cm <sup>3</sup>	12,8	%

#### **4.1.4. Resultados del ensayo de Mesa de Flujo.**

Los resultados del ensayo de la mesa de flujo se presentan en la Tabla 21, donde se observa que la mezcla obtuvo una fluidez excesiva, superando el 100%. Como consecuencia, la mezcla se esparce e incluso se dispersa por toda la superficie de la mesa de ensayo.

**Tabla 21**

*Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Masa de Flujo (arena)*

<b>HC D400</b>		
<b>Espuma</b>	<b>Agregado</b>	<b>%fluidez</b>
RV 2000-2	arena	135,33 %
KV Lite AFFF		139,32 %

**Tabla 22**

*Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Masa de Flujo (cemento)*

<b>HC D400</b>		
<b>Espuma</b>	<b>Agregado</b>	<b>%fluidez</b>
RV 2000-2 JAB	cemento	69,88 %
KV Lite AFFF JAB		80,43 %

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> utilizando diferentes agentes espumantes para realizar probetas y ensayarlas en el laboratorio.

### 4.2.1. Resultados de las dosificaciones de mezcla para D400 con los diferentes espumantes.

En línea con las recomendaciones del estudio de investigación realizado por (Contreras G.V., 2016), se llevó a cabo el ensayo de mezcla de hormigón celular utilizando el mismo agregado y cemento, pero variando únicamente los tres espumantes de diferente origen. Se realizaron pruebas con diferentes dosificaciones para identificar la composición óptima en la producción del hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

Sin embargo, se encontró que no era posible lograr la misma dosificación de materiales para los espumantes RV 2000-2 y KV Lite AFFF, como se muestra en las siguientes tablas. Incluso con el espumante Sika Poro Plus, no se pudo obtener un producto tal como se ilustra en la figura 17. Estos hallazgos sugieren que las características y propiedades de los espumantes influyen en la dosificación, por ende, en la composición final del hormigón celular. En resumen, a través del ensayo y la experimentación con diferentes dosificaciones de los espumantes, se determinó que no era posible lograr una misma dosificación de materiales para los espumantes RV 2000-2 y KV Lite AFFF, y no se pudo obtener el producto deseado con el espumante Sika Poro Plus, según lo mostrado en las tablas y figura correspondientes.

**Tabla 23**

*Mezcla de Diseño del hormigón celular 400 kg/m<sup>3</sup> con KV-LITE AFFF*

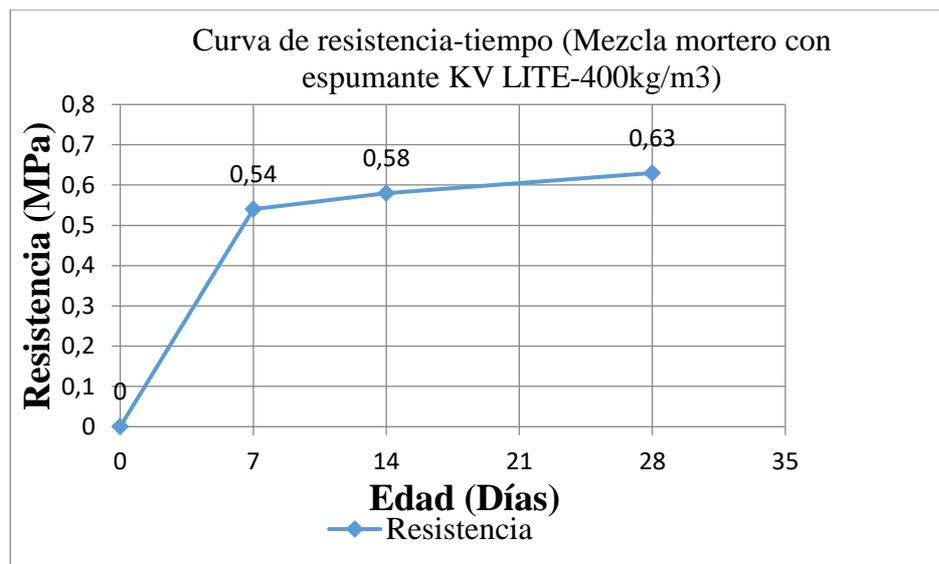
Materiales	Volumen	
	(1m <sup>3</sup> )	(0.0108 m3)

<b>Cemento</b>	156,25 kg	1,694 kg
<b>Agua</b>	70,77 kg	0,767 kg
<b>Arena</b>	156,25 kg	1,646 kg
<b>Espuma</b>	21,1 kg	0,229 kg

En la tabla 23 se puede apreciar la proporción utilizada para el hormigón celular D400 con el espumante 1. Primero se realizó el cálculo para obtener la dosificación correspondiente a 1 metro cúbico de hormigón y luego se ajustó dicha dosificación para obtener un volumen de 0.0108 metros cúbicos, el cual es necesario para la producción de 9 cilindros.

**Figura 17**

*Resistencia a la compresión KV-LITE*



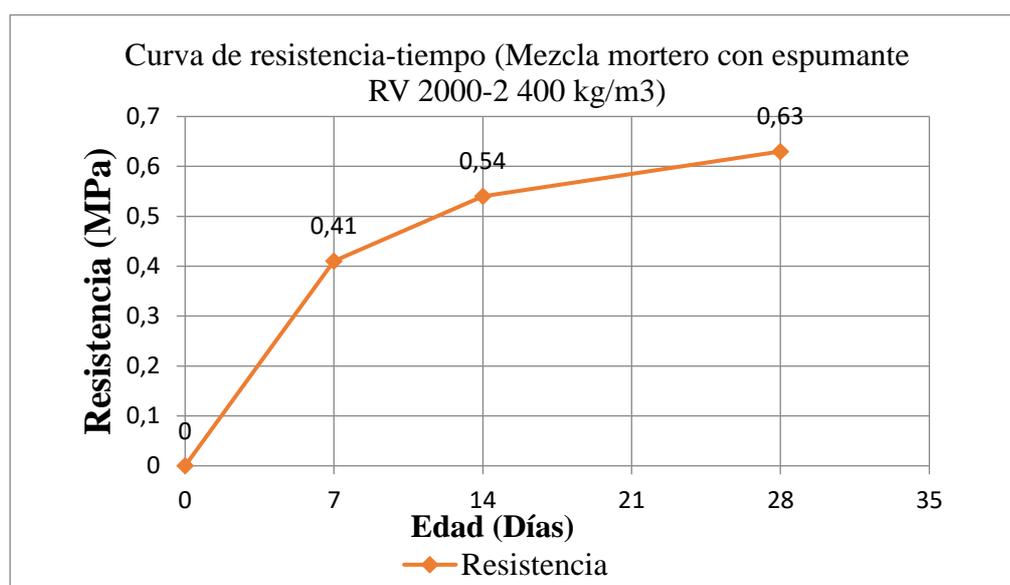
**Tabla 24**

*Mezcla de Diseño del hormigón celular 400 kg/m<sup>3</sup> con KV-LITE AFFF*

Materiales	Volumen	
	(1m <sup>3</sup> )	(0.0108 m <sup>3</sup> )
<b>Cemento</b>	156,25 kg	1,694 kg
<b>Agua</b>	70,77 kg	0,767 kg
<b>Arena</b>	156,25 kg	1,646 kg
<b>Espuma</b>	21,1 kg	0,229 kg

En la tabla 24 se puede apreciar la proporción utilizada para el hormigón celular D400 con el espumante 1. Primero se realizó el cálculo para obtener la dosificación correspondiente a 1 metro cúbico de hormigón y luego se ajustó dicha dosificación para obtener un volumen de 0.0108 metros cúbicos, el cual es necesario para la producción de 9 cilindros.

**Figura 18**  
*Resistencia a la compresión RV 2000-2*



Es importante destacar que solo se llevaron a cabo pruebas de resistencia a compresión en las muestras de hormigón celular con los espumantes KV Lite AFFF y RV 2000-2. La mezcla de hormigón celular con el espumante KV Lite AFFF alcanzó su mayor resistencia a los 28 días, con un aumento del 15% al igual con los cilindros de hormigón celular con el espumante RV 2000-2, que se ensayaron a los 28 días, como se muestra en las figuras 17 y 18.

El espumante 3 fue sometido a pruebas utilizando agregado fino y también en combinación con cemento únicamente. Sin embargo, ambos ensayos arrojaron resultados negativos, caracterizados por un asentamiento significativo después de 15 minutos. Esto se debe a que, según las especificaciones técnicas, el espumante Sika Poro Plus solo permite obtener un hormigón celular con una densidad de 1500 kg/m<sup>3</sup>.

En la tesis de Yáñez López & Medina Piza (2014), se mencionan agentes espumantes especializados en hormigones de baja densidad de la empresa Euclid Chemical Toxement, de origen colombiano. Estos productos presentan diferentes niveles de inclusión de aire. Con el Eurocell 200, es posible incluir entre un 20% y un 35% de aire, y la densidad de la mezcla puede variar entre 1500 kg/m<sup>3</sup> y 1600 kg/m<sup>3</sup>. Por otro lado, con el Eurocell 1000, se puede incluir entre un 35% y un 45% de aire, y la densidad de la mezcla puede oscilar entre 1500 kg/m<sup>3</sup> y 1200 kg/m<sup>3</sup>. Además, se destaca la importancia de realizar pruebas previas con los diferentes agentes espumantes.

### **Figura 19**

*Muestra de probetas fallidas con Sika Poro Plus*



Considerando que las probetas elaboradas con agregado fino no arrojaron resultados satisfactorios en términos de resistencia y densidad, Cervantes da a conocer en el Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño la posibilidad de emplear cemento Pórtland, agua, gas o espuma preparada, sin agregados sólidos, generalmente limitados en el rango de baja densidad (200 a 700 kg/m<sup>3</sup>). En su elaboración se mezclan primero el cemento y el agua, y posteriormente se añade un agente químico o una espuma estable preparada, la cual debe ser bien mezclada con la pasta de cemento para lograr la consistencia celular, se decidió utilizar solo cemento para la fabricación de nuevas probetas tanto para el espumante KV Lite AFFF y RV 2000-2. Consecuentemente, tras el transcurso de un lapso temporal de 28 días, se lograron

adquirir datos de carácter sumamente alentador en lo que respecta a los parámetros de resistencia y densidad. Estos resultados, caracterizados por su marcada positividad, aportan un respaldo sustancial a la eficacia y la calidad inherente del proceso de estudio y desarrollo llevado a cabo en este contexto.

**4.2.1.1. Los resultados obtenidos del espumante KV Lite AFFF JAB se presentan en la tabla siguiente.**

Después de obtener resultados iniciales de baja resistencia en nuestras pruebas, decidimos abordar el problema desarrollando una solución específica. Para ello, utilizamos una combinación de dos componentes clave: el agente espumante KV-LITE AFFF y el extracto de Sapindus Saponaria, también conocido como jaboncillo. Procedimos a realizar una serie de experimentos, variando los porcentajes de cada componente, con el objetivo de lograr resultados óptimos en términos de densidad y resistencia para nuestras probetas. Estas probetas son muestras que representan nuestro producto final y serán sometidas a ensayos en el laboratorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. En dicho laboratorio, contamos con los recursos necesarios para llevar a cabo pruebas rigurosas que evaluarán las propiedades físicas y químicas de las probetas, así como su rendimiento en situaciones simuladas. Estamos confiados en que este enfoque meticuloso nos permitirá obtener un agente espumante de alta calidad y eficacia, con aplicaciones potenciales en diversas industrias.

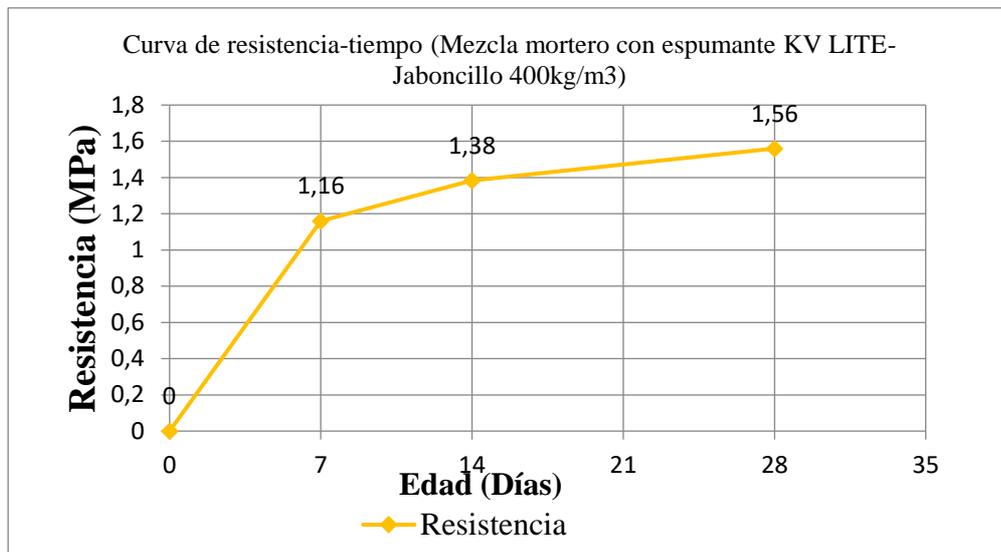
**Tabla 25**

*Mezcla De Diseño para cemento celular de 400 Kg/m<sup>3</sup> con espumante KV-LITE AFFF-Jaboncillo*

<b>Materiales</b>	<b>Volumen</b>	
	<b>(1m<sup>3</sup>)</b>	<b>(0.0108 m3)</b>
<b>Cemento</b>	250	2,71
<b>Agua</b>	129,91	1,408
<b>Espuma</b>	20,09	0,218
<b>Jaboncillo</b>	12,5	0,135

**Figura 20**

*Resultados de la comprensión de las probetas del espumante KV-LITE-  
AFFF JAB*



**4.2.1.2.** *Los resultados obtenidos del RV 2000-2 JAB se presentan en la tabla siguiente.*

Durante el análisis del RV 2000-2, nuestros resultados iniciales fueron decepcionantes, ya que no se observó ninguna mejora significativa en las propiedades deseadas. Ante esta situación, decidimos emprender un enfoque más innovador y riguroso para desarrollar una solución alternativa. Tomando en cuenta los conocimientos adquiridos del espumante previo, procedimos a formular una nueva combinación utilizando el RV 2000-2 y el extracto de *Sapindus saponaria* (jaboncillo). Esta nueva formulación fue sometida a diversas pruebas y ajustes para lograr una concentración y proporción óptima de los ingredientes. A través de una metodología cuidadosa y sistemática, finalmente obtuvimos una probeta que cumplió con los estándares y normas previamente establecidos. Las pruebas en el laboratorio revelaron que el nuevo espumante, denominado RV 2000-2 en combinación con jaboncillo, exhibía propiedades deseables en términos de densidad, resistencia y rendimiento. Estos resultados alentadores demuestran el éxito de nuestra estrategia de desarrollo y nos brindan una base sólida para continuar explorando las aplicaciones potenciales de este agente espumante en diversas industrias.

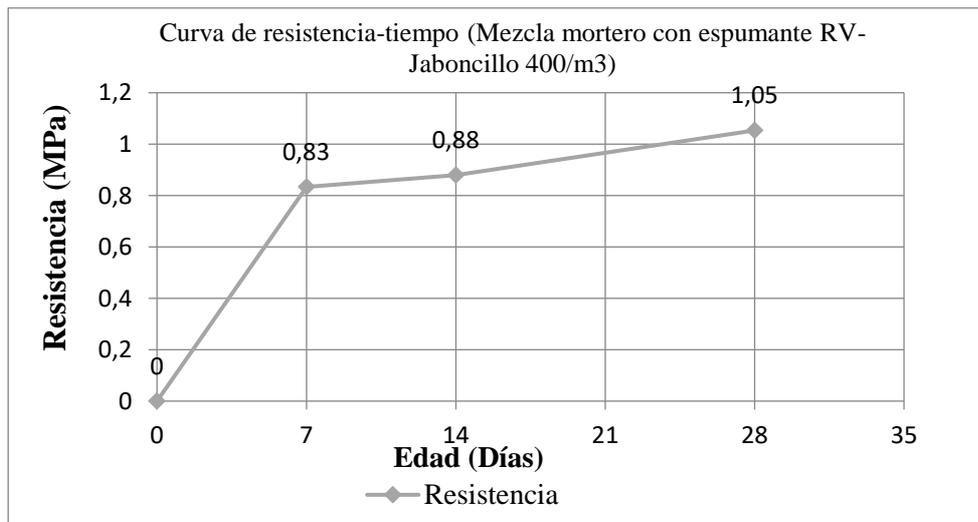
**Tabla 26**

*Mezcla De Diseño para cemento celular de 400 Kg/m<sup>3</sup> con espumante RV 2000-2 - Jaboncillo*

Materiales	Volumen	
	(1m <sup>3</sup> )	(0.0108 m3)
Cemento	250	2,71
Agua	129,91	1,408
Espuma	20,09	0,218
Jaboncillo	12,5	0,135

**Figura 21**

*Resultados de la comprensión de las probetas del espumante RV 2000-2 JAB*



Para el espumante Sika Poro Plus, se llevaron a cabo pruebas adicionales que también arrojaron resultados negativos. Estos resultados fueron consistentes a pesar de tener en cuenta el artículo que indica que, para densidades inferiores a 700 kg/m<sup>3</sup> se debe utilizar solo cemento en la mezcla. A pesar de seguir esta recomendación, no se logró obtener los resultados deseados, lo que indica que el espumante 3 no fue adecuado para alcanzar los objetivos establecidos.

## Figura 22

*Resultados de probetas en base al espumante Sika Poro Plus*



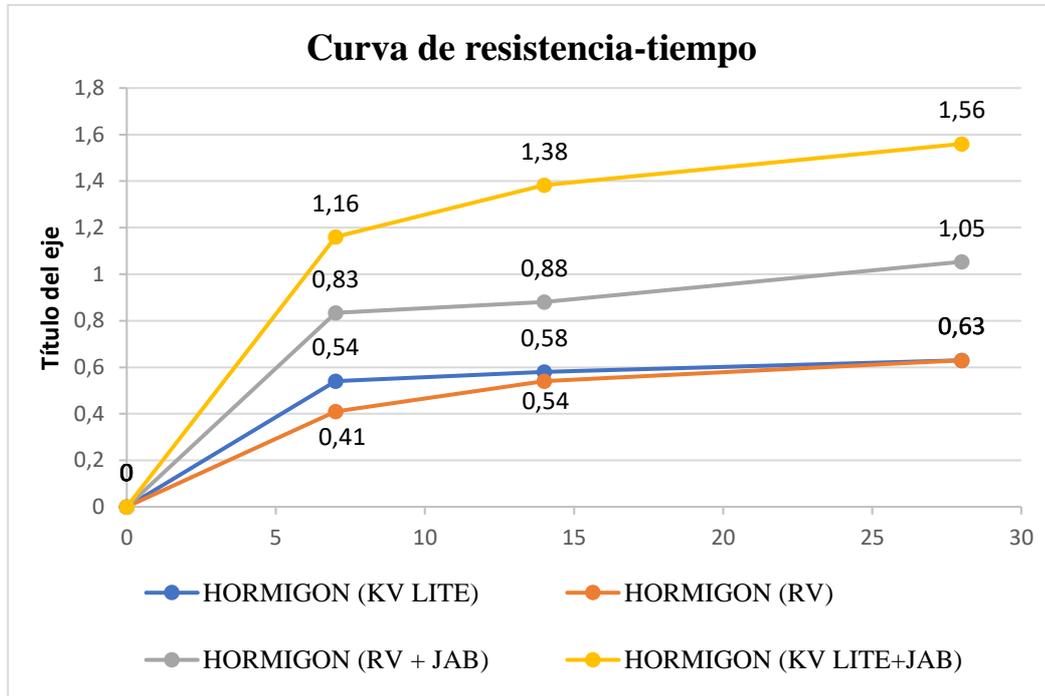
### **4.2.2. Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas.**

La figura que se presenta a continuación muestra los resultados comparativos de los espumantes puros y los espumantes enriquecidos con jaboncillo. Los datos obtenidos revelan que los espumantes en los cuales se añadió jaboncillo han demostrado resultados que cumplen con los estándares establecidos. En contraste, los espumantes sin adición de jaboncillo muestran un rendimiento inferior en términos de las propiedades evaluadas. Estos resultados respaldan la eficacia y el impacto positivo de la inclusión de jaboncillo como aditivo en la formulación de los espumantes, mejorando significativamente sus características y cumpliendo con los requisitos de calidad establecidos.

En la figura 23 se presentan los resultados comparativos entre diferentes tipos de espumantes. Esta figura permite visualizar y analizar las diferencias en términos de rendimiento y propiedades de los espumantes evaluados. Mediante un análisis cuantitativo, se pueden observar y comparar los datos obtenidos para cada tipo de espumante en función de parámetros específicos, como densidad, resistencia, estabilidad de la espuma, entre otros. Estos resultados son fundamentales para comprender y evaluar el desempeño relativo de cada espumante, proporcionando información valiosa para la selección y optimización de los espumantes en aplicaciones prácticas.

**Figura 23**

*Comparación de resultados con agregado fino y solo cemento del espumante RV 2000-2 y KV Lite AFFF*



**4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.3, Ejecutar un análisis comparativo de los resultados del comportamiento físico-mecánico de las probetas mediante cuadros estadísticos que permitan seleccionar la mezcla con mejores propiedades según la norma ACI 523.1R-06 para evaluar los costos de producción de esta.**

Al llevar a cabo un análisis pormenorizado del costo por metro cúbico, tal y como se presenta de manera detallada en la Tabla 27, es discernible que el monto asociado a la adquisición de la sustancia KV Lite AFFF JAB exhibe una leve elevación respecto al correspondiente a la espuma RV 2000-2 JAB. Desde una perspectiva estrictamente económica, es plausible concluir que la espuma RV 2000-2 JAB ostenta una mayor eficiencia en términos de rentabilidad. No obstante, si orientamos nuestra evaluación hacia las capacidades de resistencia, se consolida la noción de que la elección óptima recae en la adopción de la variante KV Lite AFFF JAB, en virtud de sus propiedades superiores en este aspecto particular.

**Tabla 27**

*Análisis de precio unitario para 1m<sup>3</sup> de cemento celular de 400 kg/m<sup>3</sup> con los 2 espumantes con resultados positivos*

<b>Ítems</b>	<b>Precio</b>
Cemento celular de 400 kg/m <sup>3</sup> con KV-LITE AFFF JAB	\$89,59
Cemento Celular de 400 kg/m <sup>3</sup> con RV 2000-2 JAB	\$87,91

# **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

- ✓ Se caracterizó la materia prima utilizada para la elaboración del hormigón celular con densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  donde el cemento hidráulico HE cumple con la norma INEN 2380:2011 y tiene una densidad de  $3,15 \text{ g/cm}^3$ , la arena del Triunfo cumple con la norma ASTM C-33 en términos de gradación y módulo de finura, siendo este último de 2,33 y la densidad de la espuma RV-2000 se encuentra entre  $60 \text{ kg/m}^3$  y  $80 \text{ kg/m}^3$ , asimismo la densidad del espumante KV Lite AFFF se encuentra entre  $40 \text{ kg/m}^3$  y  $60 \text{ kg/m}^3$ .
  
- ✓ Se logró diseñar y elaborar una mezcla de hormigón celular con una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  mediante la utilización de diferentes agentes espumantes, en las probetas se determinó la densidad y resistencia de la misma. Este objetivo fue alcanzado elaborando probetas de hormigón celular de acuerdo al diseño mostrado en el ítem 3.17, lo que permitió obtener una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  y una resistencia a la compresión máxima de 1,05 MPa a los 28 días, la cual, se encuentra entre los valores mostrados en la norma ACI 523.1R-06.
  
- ✓ En relación al análisis de precio unitario por  $\text{m}^3$  del hormigón celular  $400 \text{ kg/m}^3$  no se encontraron diferencias significativas al emplear los espumantes  $\text{kg/m}^3$  RV 2000-2 JAB y KV Lite AFFF JAB. El costo estimado del hormigón celular  $400 \text{ kg/m}^3$  con el espumante RV 2000-2 JAB es de \$87,91 por  $\text{m}^3$ , mientras que con el espumante KV Lite AFFF JAB el costo asciende a \$89,59 por  $\text{m}^3$ . Al considerar la resistencia mínima requerida por la norma ACI 523.1R-06, que es de 0,86 MPa, se observa que la mezcla que cumple con este requisito es

aquella elaborada con RV 2000-2-JAB. La elección de la mezcla con esta espumante también demuestra la importancia de considerar no solo los costos económicos, sino también los requisitos de calidad y rendimiento establecidos por las normas y estándares aplicables. Tras un análisis detallado. Esta consideración respalda aún más la elección de utilizar los espumantes enriquecidos con jaboncillo, ya que se logra un equilibrio entre la calidad del producto final y la eficiencia económica.

- ✓ Como conclusión final de acuerdo con la problemática expuesta, A través de la recopilación de datos en la realización de ensayos durante el ciclo de investigación, se logró realizar un análisis FODA, que indicó las fortalezas y debilidades claves de la propuesta de desarrollo de hormigón celular

**Tabla 28**

*Análisis FODA*

		Puede generar VENTAJAS COMPETITIVAS	Pueden generar PROBLEMAS	
		<b>F</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
		<b>FORTALEZAS</b>		<b>DEBILIDADES</b>
INTERNAS		✓ Aislamiento acústico		✓ Inestabilidad de la espuma
		✓ Menor conductividad térmica		✓ Baja resistencia a la compresión
		✓ Menor porcentaje de tarrajeo (1cm de espesor)		✓ Delicado proceso de fabricación
		✓ Proceso constructivo planteado economizador		✓ Fragilidad
		✓ Fácil movimiento del material		✓ Alta absorción de humedad a través de los poros
				✓ Adhesividad entre elementos del mismo tipo realizados en diferentes tiempos
		<b>O</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
		<b>OPORTUNIDADES</b>		<b>AMENAZAS</b>
Procedentes del ENTORNO		✓ Oportunidades de manejo del material		✓ Mano de obra incapacitada
		✓ Proyecto innovador		✓ Disponibilidad de aditivo espumante
		✓ Incremento de oferta		✓ Ausencia de normativa ecuatoriana

## 5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar ensayos experimentales adicionales para evaluar el comportamiento físico-mecánico de las mezclas de hormigón celular con diferentes espumantes. Estos ensayos deben incluir pruebas de resistencia, durabilidad y otros parámetros relevantes, siguiendo las normas y estándares establecidos, como la ACI 523.1R-06. Esto permitirá obtener datos más precisos y confiables para seleccionar la mezcla óptima en términos de desempeño y cumplimiento de los requisitos normativos.
  
- ✓ Basado en los resultados obtenidos en el diseño y fabricación de la mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> utilizando diferentes agentes espumantes se recomienda seguir investigando y explorando las aplicaciones y beneficios del hormigón celular de baja densidad. Se sugiere realizar ensayos adicionales para evaluar y caracterizar aún más las propiedades el desempeño del hormigón celular en diferentes condiciones y contextos específicos de la industria de la construcción.
  
- ✓ En relación a los resultados del análisis de precio unitario y las especificaciones de resistencia mínima, se recomienda seleccionar el hormigón celular 400 kg/m<sup>3</sup> con el espumante RV 2000-2 JAB. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en los costos entre los espumantes RV 2000-2 JAB y KV Lite AFFF JAB, la mezcla elaborada con el espumante 2 cumple con los requisitos de resistencia establecidos por la norma ACI 523.1R-06, que exige una resistencia mínima de 0,86 MPa. Esta recomendación resalta la importancia de considerar tanto los aspectos económicos como los criterios de calidad y rendimiento al seleccionar una mezcla de cemento celular. Por lo tanto, se sugiere utilizar el espumante RV 2000-2 JAB en la producción de cemento celular 400 kg/m<sup>3</sup> ya que cumple con los requisitos de resistencia establecidos por la norma y presenta un costo similar al del espumante KV Lite AFFF JAB.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 523.1R-06. (2015). *Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete*.
- Acosta López, L. N. (2003). *Evaluación de las propiedades del concreto celular*. Universidad de Sonora.
- Alex Bladymir, F. A. (2015). “*EL HORMIGÓN DE BAJA DENSIDAD Y SU APLICACIÓN EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS*.” Universidad Técnica de Ambato.
- Alomoto & Mejillones. (2022). “*ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 800 KG/M3 (D800) EN SANTA ELENA*.” UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA.
- Arbitro Contreras Gerardo. (2016). *Concreto celular para uso estructural*. .
- ASOCEM. (2015). *El Cemento y el Medio Ambiente*.
- ASTM C138/C138M. (2014).
- Bastis Consultores. (2021). Método hipotético deductivo. <https://Online-Tesis.Com/Metodo-Hipotetico-Deductivo/>.
- Bemtsson C. (2003). *Lighthweight aggregate concrete*.
- Botero Iván. (2023). HIDRATACIÓN DEL CONCRETO: AGUA DE CURADO Y AGUA DE MEZCLADO. 360 en *Concreto*.
- Caicedo Barona, W. A. & T. Q. F. M. (2019). *Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito*.
- Carrillo Flores, A. L. (2015). *Población y Muestra*.

- Cauas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. *Bogotá: Biblioteca Electrónica de La Universidad Nacional de Colombia* 2, 1–11.
- Cevallos Macias, A. E. G. A. M. O. (2020). *Diseño de un sistema estructural para losas de piso empleando losetas de mortero celular*. Universidad Estatal Península De Santa Elena.
- Contreras G.V. (2016). *Concreto celular para uso estructural*.
- Córdova Flores, M. A., & F. R. 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. & V. A. N. (2016). *Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Flechas, H. (2009). *INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE TRES PRODUCTOS DEL JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIA L.) COMO BASE PARA SU INDUSTRIALIZACIÓN*.
- Galobardes, I., Cavalaro, S., Aguado, A., García, J., & Materials, B. (2014). *Estimation of the modulus of elasticity for sprayed concrete*.
- Gonzabay Asencio, M. O. (2020). *“DISEÑO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL PARA LOSAS DE PISO EMPLEANDO LOSETAS DE MORTERO CELULAR.” UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA*.
- Guerrero Velázquez José María. (2018). *Introducción a la espuma*. 6.
- INEC. (2020). *Encuesta nacional de edificaciones 2019*.
- INECYC. (2007). *INTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGON*.

Joaquín Francisco, C. L. (2019). “ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTOS LIVIANOS TIPO SANWICH CON NUCLEO DE CONCRETO ESPUMADO PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES.”

KHALID. ALI. M. GELIM. (2011). *MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLY ASH FOAMED CONCRETE*. University Tun Hussein Onn Malaysia.

Lazo Arraya, J. (2017). *Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones*.

LUMITOS. (2016). Hormigón. [Google.Com/Search?Rlz=1C1ONGR\\_esEC1008EC1008&sxsrf=AB5stBiT0\\_fL0c9VpPiwGCdoV8RzcIyu7g:1689165614299&q=Clases+de+concreto+ligero++TABLA&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwilxqCjmlmAAxVZOOQIHawWDNAQ0pQJegQIChAB&biw=767&bih=704&dpr=1.25#imgsrc=DDAZRd\\_Kul9x4M](https://www.google.com/search?rlz=1C1ONGR_esEC1008EC1008&sxsrf=AB5stBiT0_fL0c9VpPiwGCdoV8RzcIyu7g:1689165614299&q=Clases+de+concreto+ligero++TABLA&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwilxqCjmlmAAxVZOOQIHawWDNAQ0pQJegQIChAB&biw=767&bih=704&dpr=1.25#imgsrc=DDAZRd_Kul9x4M).

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. Carrera de Ingeniería Civil.

Mastropiero, M. (2021). *El hormigón para arquitectos*.

Méndez, A. (2017). *Tipos de Concretos y Morteros*.

Muñoz Pérez, S. P. G. C. W. R. S. P. T. M. (2021). *Uso de residuos sólidos en la elaboración de concreto celular*.

Narayanan & Ramamurthy. (2009). *A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete*.

NTE INEN. (2010). *Tipos de rotura*.

NTE INEN 1573. (2020). *HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE*

*ESPECIMENES CILINDRICOS DE HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO.*

NTE INEN 1578. (2020). *HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DEL ASENTAMIENTO.*

Organista Valdiosera E. (1999). *Optimización en el diseño de mezclas, dosificación, producción y propiedades de concreto celular hecho a base de agentes espumantes.*

Orozco Everlein. (2022). PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL CONCRETO CELULAR. *360 En Concreto.*

Panesar, J., & Materials, B. (2013). *Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents.*

Pinto, J., & Maldonado, E. (2018). Metodología de la investigación social. *Paradigmas: Cuantitativo, Sociocrítico, Cualitativo, Complementario.*

POZO GAVARA VICTOR. (2021). *FORMACIÓN DE GELES MOLECULARES A PARTIR DE SURFACTANTES ANIÓNICOS DERIVADOS DE AMINOÁCIDOS.*

Quiroz Jair. (2023). *Cemento material fundamental en la construcción.* UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ.

Rengifo Cuenca, M. C. & Y. C. R. V. (2013). *Estudio del hormigón celular.*

Retamal, F. A., R. V. C. & E. M. R. (2020). *Estudio del comportamiento mecánico del hormigón celular simple y hormigón celular reforzado con fibras en vigas híbridas de hormigón armado.*

ROBALINO VILLAGOMEZ, G. H. (2016). *IMPLEMENTACIÓN DEL MORTERO CELULAR EN EL ECUADOR.* UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO.

Rocha, D. P. C. & V. J. (2020). *Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli).* 30(2).

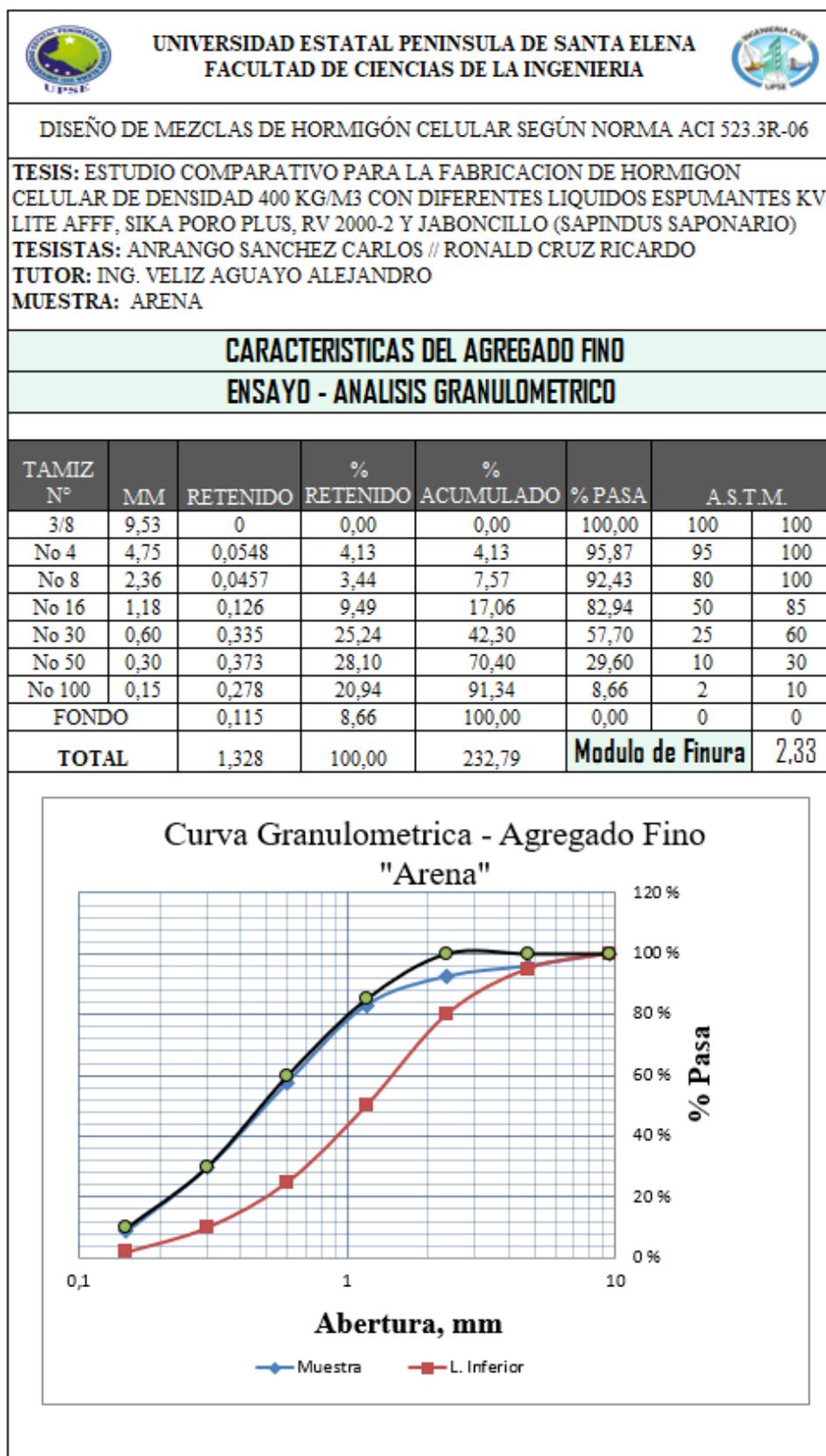
- Simo Chemical. (2019). <https://www.simo-chemical.com/news/types-offoaming-agents-15368928.html>.
- Turro, N., Ramamurthy, V., & Scaiano, J. (2009). *Principles of molecular photochemistry*. University science books.
- Valmada Navarro, D., Yeomans Reyna, F. S., Nungaray Pérez, C., & Elizondo Fósil, A. (2006). Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural CARACTERIZACIÓN DE CONCRETO CELULAR A BASE DE ESPUMA PREFORMADA. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 8, 13. [http://www.smie.org.mx/SMIE\\_Articulos/co/co\\_14/te\\_06/ar\\_15.pdf](http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_14/te_06/ar_15.pdf)
- Yáñez López & Medina Piza. (2014). *Análisis de viabilidad para el uso del mortero celular en Colombia a partir de la revisión del estado del arte*.

# ANEXOS

## Anexo 1 Registro grafico de los ensayos

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA	
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.1R-06		
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING.ALEJANDRO VELIZ AGUAYO		
<b>ENSAYO - ANALISIS GRANULOMETRICO (ARENA)</b>		
		
<b>FLUIDEZ</b>		
		

Anexo 2 Ensayo de granulometría

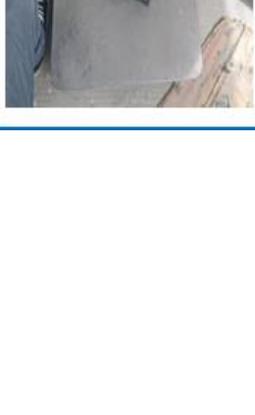
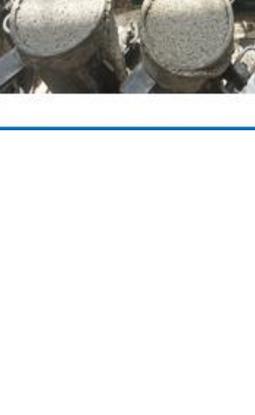
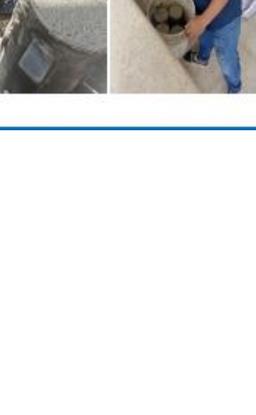
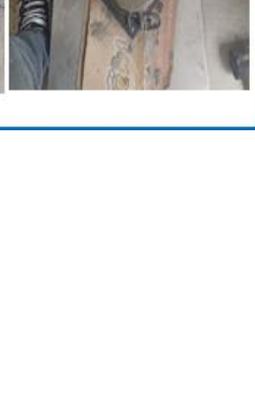


*Anexo 3 Registro grafico de ensayo de Mesa de Flujo*

 <p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</p> 
<p>DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.1R-06</p>
<p><b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING.ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>
<p><b>ENSAYO - Mesa de Flujo</b></p>



*Anexo 4 Registro de elaboración de cemento celular de D400*

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA		
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.1R-06			
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)			
<b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO			
<b>TUTOR:</b> ING.ALEJANDRO VELIZ AGUAYO			
<b>ELABORACION DE CEMENTO CELULAR DE D400</b>			
			
			
			

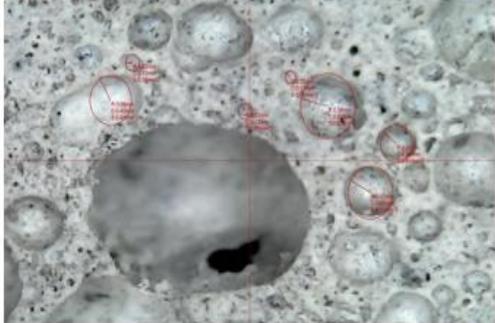
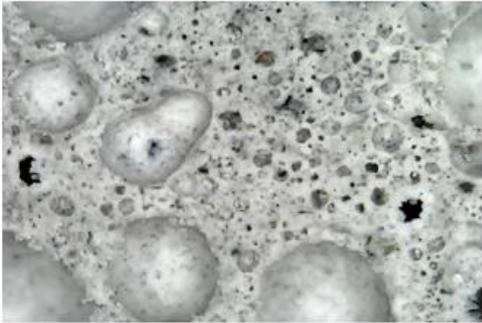
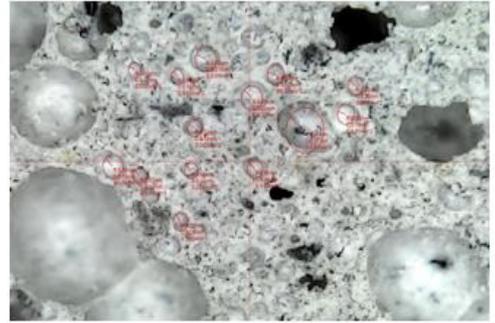
*Anexo 5 Registro de elaboración de rotura de D400*

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</p>	
<p>DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.1R-06</p>		
<p><b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING.ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p><b>ELABORACION DE ROTURA DE D400</b></p>		
		

*Anexo 6 Registro de elaboración de rotura de D400*

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</p>	
<p>DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.1R-06</p>		
<p><b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING.ALEJANDRO VELIZ AGUAYO</p>		
<p><b>ELABORACION DE JABONCILLO "SAPINDUS SAPONARIO"</b></p>		
		

*Anexo 7 Registro de los poros de los 2 espumantes*

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA	
<b>DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.1R-06</b>		
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING.ALEJANDRO VELIZ AGUAYO		
<b>POROCIDAD OBSERVADA DESDE UN MICROSCOPIO DE LOS ESPUMANTE 1 Y 2</b>		
		
		

*Anexo 8 Registro de ensayo de Densidad Saturada superficialmente Seca, %Absorción y Peso Volumétrico Suelto*

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b>		
	<b>DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06</b>	
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <span style="float: right;"><b>MUESTRA:</b> ARENA</span>		
<b>CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>ENSAYOS - ARENA</b>		
<b>DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
P.S.S.S.	500	gr
LECTURA INICIAL	200	gr
LECTURA FINAL	412	gr
W(DESALOJADO)	212	gr
VOLUMEN	212	cm3
D.S.S.S.	2,36	gr/cm3
D.S.S.S.	2358,49	Kg/m3
<b>% ABSORCION</b>		
<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
RECIPIENTE	Dp	
W RECIPIENTE (gr)	29,61	gr
W ARENA SATURADA + R	315,17	gr
W ARENA SECA + R	282,76	gr
W AGUA	32,41	gr
W ARENA SECA	253,15	gr
% ABSORCION	12,80	%
<b>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO</b>		
<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
VOLUMEN	0,0028	m3
P.V.S +R	6,12	gr
RECIPIENTE	1,952	gr
PESO DEL MATERIAL	4,168	gr
PVS	1488,57	gr
<b>ELABORADO POR:</b> RONALD CRUZ ANRANGO SANCHEZ		<b>REVISADO POR:</b> ING. RICHARD RAMIREZ

Anexo 9 Dosificación para Cemento Celular de 400 kg/m<sup>3</sup>

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA					
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06							
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)							
<b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS // RONALD CRUZ RICARDO ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO					<b>TUTOR:</b>		
<b>MUESTRA:</b> ARENA							
<b>DOSIFICACION DEL HORMIGON CELULAR</b>							
<b>CARACTERISTICA DE LOS MATERIALES</b>							
<b>ARENA</b>		VALOR	UNIDAD	<b>CEMENTO</b>		VALOR	
						UNIDAD	
DENSIDAD		2,36	gr/cm3	TIPO DE CEMENTO		HE	
CONTENIDO DE HUMEDAD		10	%	PESO ESPECIFICO	3,15	g/cm3	
ABSORCION		12,80	%				
MODULO DE FINURA		2,33					
<b>AGUA</b>		VALOR	UNIDAD	<b>ESPUMA</b>		VALOR	
						UNIDAD	
DENSIDAD DEL AGUA		1000	kg/m3	RENDIMIENTO	2		
				DENSIDAD	53	kg/m3	
<b>EN CASO DE USAR ADITIVOS Y FIBRAS</b>							
		VALOR	UNIDAD	CANTIDAD			
ADITIVO		1	kg/lit	0	% PESO DEL CEMENTO		
FIBRA		1	kg/lit	0	KG/M3		
DENSIDAD EN ESTADO FRESCO		400	kg/m3				
RESISTENCIA A LA COMPRESION F°C		0,82	MPA				
RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)		0,56			RANGO (0,45 A 0,60) SEGUN NORMA ACI 523.3R-06		
RELACION ARENA CEMENTO ()		1,00					
<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA 1M3 DE HC</b>							
<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>		<b>UNIDAD</b>		<b>VOLUMEN</b>		
DENSIDAD SECADA AL HORNO	278,000		kg/m3				
CANTIDAD DE CEMENTO	156,250		kg/m3		0,0496		
CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO	87,500		lt/m3		0,0875		
CANTIDAD DE ARENA	156,250		kg/m3		0,0663		
CANTIDAD DE ADITIVO	0,000		lt/m3		0,0002		
VOLUMEN ABSOLUTO DE DISEÑO	0,203		kg/m3		0,2034		
VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO	0,797		kg/m3				
VOLUMEN DE LA ESPUMA REQUERIDA	0,398		m3				
PESO DE LA ESPUMA	21,111		m3				
AGUA EN LA ARENA	-4,379		kg/m3				
AGUA EN LA ESPUMA	21,111		kg/m3				
CORRECCION DEL AGUA	70,768		kg/m3				
CORRECCION DE LA ARENA	151,871		kg/m3				
<b>CANTIDADES NECESARIAS PARA 1M3 DE HC</b>			<b>CANTIDADES NECESARIAS PARA CILINDROS</b>				
<b>MATERIALES DE DISEÑO</b>		VALOR	UNIDAD	<b>MATERIALES</b>	VALOR	UNIDAD	
						<b>DATOS</b>	
CEMENTO	156,250	Kg	CEMENTO	1,694	Kg	VOLUMEN	
CERAMICA COCIDA	151,871	Kg	ARENA	1,646	Kg	0,0094	
AGUA	70,768	Lt	AGUA	0,767	Lt	DESPERDICIO	
ESPUMA	21,111	Kg	ESPUMA	0,229	Kg	15%	
ADITIVO	0,000	Lt	ADITIVO	0,000	Lt	V.RQ	
FIBRA	0,000	Lt	FIBRA	0,000	Kg	0,01084	
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ			REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ				

Anexo 10 Dosificación para Hormigón Celular de 400 kg/m<sup>3</sup> KV-LITE AFFF

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA												
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06												
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RY 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <b>MUESTRA:</b> ARENA												
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO												
ENSAYO - MESA DE FLUJO												
<table border="1"> <tr> <td>Densidad Aparente</td> <td>400</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>		Densidad Aparente	400	Kg/m <sup>3</sup>								
Densidad Aparente	400	Kg/m <sup>3</sup>										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>D(l)</th> <th>Díametro promedio obtenido(mm)</th> <th>Díametro Inicial (mm)</th> <th>% Fluidez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>239,15</td> <td rowspan="4">239,10</td> <td rowspan="4">101,6</td> <td rowspan="4">135,33</td> </tr> <tr> <td>239,61</td> </tr> <tr> <td>238,82</td> </tr> <tr> <td>238,8</td> </tr> </tbody> </table>		D(l)	Díametro promedio obtenido(mm)	Díametro Inicial (mm)	% Fluidez	239,15	239,10	101,6	135,33	239,61	238,82	238,8
D(l)	Díametro promedio obtenido(mm)	Díametro Inicial (mm)	% Fluidez									
239,15	239,10	101,6	135,33									
239,61												
238,82												
238,8												
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ											

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA																														
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06																														
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RY 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <b>MUESTRA:</b> ARENA																														
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR																														
ENSAYO - TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN CELULAR																														
<table border="1"> <tr> <td>Muestra</td> <td>ARENA - KY LITE</td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td>400 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>		Muestra	ARENA - KY LITE	Densidad	400 kg/m <sup>3</sup>																									
Muestra	ARENA - KY LITE																													
Densidad	400 kg/m <sup>3</sup>																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hora de inicio del ensayo</th> <th>Lecturas</th> <th>Tiempo (min)</th> <th>Penetración (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="8">13:10</td> <td>13:10</td> <td>0</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>13:40</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>14:10</td> <td>60</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>14:30</td> <td>80</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>15:40</td> <td>150</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>15:50</td> <td>160</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>15:55</td> <td>165</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>16:05</td> <td>175</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>		Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetración (mm)	13:10	13:10	0	40	13:40	30	40	14:10	60	40	14:30	80	40	15:40	150	37	15:50	160	32	15:55	165	28	16:05	175	25
Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetración (mm)																											
13:10	13:10	0	40																											
	13:40	30	40																											
	14:10	60	40																											
	14:30	80	40																											
	15:40	150	37																											
	15:50	160	32																											
	15:55	165	28																											
	16:05	175	25																											
<p style="text-align: center;"><b>TIEMPO DE FRAGUADO</b></p>																														
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ																													

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA																						
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06																						
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <b>MUESTRA:</b> MORTERO																						
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO																						
ENSAYO - PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE																						
<table border="1"> <tr> <th>Densidad Aparente</th> <td style="text-align: center;">400</td> <td style="text-align: right;">kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>																			
Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Peso Unitario</th> </tr> <tr> <th>Item</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V. del recipiente</td> <td style="text-align: center;">0,002707</td> <td style="text-align: center;">m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>M. del recipiente</td> <td style="text-align: center;">1,753</td> <td style="text-align: center;">kg</td> </tr> <tr> <td>M. del recipiente+muestra</td> <td style="text-align: center;">2,733</td> <td style="text-align: center;">kg</td> </tr> <tr> <td>P. de la muestra</td> <td style="text-align: center;">0,980</td> <td style="text-align: center;">kg</td> </tr> <tr> <td>P.U.</td> <td style="text-align: center;">362,02</td> <td style="text-align: center;">kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </tbody> </table>		Peso Unitario			Item	Valor	Unidad	V. del recipiente	0,002707	m <sup>3</sup>	M. del recipiente	1,753	kg	M. del recipiente+muestra	2,733	kg	P. de la muestra	0,980	kg	P.U.	362,02	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario																						
Item	Valor	Unidad																				
V. del recipiente	0,002707	m <sup>3</sup>																				
M. del recipiente	1,753	kg																				
M. del recipiente+muestra	2,733	kg																				
P. de la muestra	0,980	kg																				
P.U.	362,02	kg/m <sup>3</sup>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Densidad Teorica</th> </tr> <tr> <th>Item</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M. total de</td> <td style="text-align: center;">0,980</td> <td style="text-align: center;">kg</td> </tr> <tr> <td>V. absoluto de los ingredientes</td> <td style="text-align: center;">0,0017</td> <td style="text-align: center;">m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>D. Teorica</td> <td style="text-align: center;">576,47</td> <td style="text-align: center;">kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </tbody> </table>		Densidad Teorica			Item	Valor	Unidad	M. total de	0,980	kg	V. absoluto de los ingredientes	0,0017	m <sup>3</sup>	D. Teorica	576,47	kg/m <sup>3</sup>						
Densidad Teorica																						
Item	Valor	Unidad																				
M. total de	0,980	kg																				
V. absoluto de los ingredientes	0,0017	m <sup>3</sup>																				
D. Teorica	576,47	kg/m <sup>3</sup>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Contenido de aire del Hc</th> </tr> <tr> <th>Peso Unitario</th> <th>D. Teorica</th> <th>Contenido de aire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">362,02</td> <td style="text-align: center;">576,47</td> <td style="text-align: center;">37,20</td> </tr> </tbody> </table>		Contenido de aire del Hc			Peso Unitario	D. Teorica	Contenido de aire	362,02	576,47	37,20												
Contenido de aire del Hc																						
Peso Unitario	D. Teorica	Contenido de aire																				
362,02	576,47	37,20																				
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ																					

### Anexo II Dosificación para Hormigón Celular de 400 kg/m<sup>3</sup> RV 2000-2

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA												
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06												
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <b>MUESTRA:</b> ARENA												
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO												
ENSAYO - MESA DE FLUJO												
<table border="1"> <tr> <th>Densidad Aparente</th> <td style="text-align: center;">400</td> <td style="text-align: right;">kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>									
Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>D(l)</th> <th>Diametro promedio obtenido(mm)</th> <th>Diametro Inicial (mm)</th> <th>% Fluidez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">224,9</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">243,15</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">101,6</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">139,32</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">254</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">249,2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">244,5</td> </tr> </tbody> </table>	D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez	224,9	243,15	101,6	139,32	254	249,2	244,5	
D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez									
224,9	243,15	101,6	139,32									
254												
249,2												
244,5												
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ											



DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06

**TESIS:** ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORD PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)

**TESISTAS:** ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO  
ALEJANDRO

**TUTOR:** ING. VELIZ AGUAYO

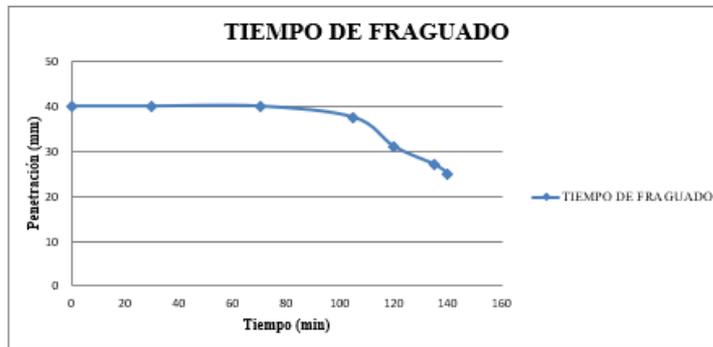
**MUESTRA:** ARENA

**CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR**

**ENSAYO - TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN CELULAR**

Muestra	ARENA - RV 2000
Densidad	400 kg/m <sup>3</sup>

Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetración (mm)
10:30	10:30	0	40
	11:00	30	40
	11:40	70	40
	12:15	105	37,5
	12:30	120	31
	12:45	135	27
	12:50	140	25



ELABORADO POR:  
ANRANGO SANCHEZ  
RONALD CRUZ

REVISADO POR:  
ING. RICHARD RAMIREZ



DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06

**TESIS:** ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORD PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)

**TESISTAS:** ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO  
ALEJANDRO

**TUTOR:** ING. VELIZ AGUAYO

**MUESTRA:** ARENA

**CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO**

**ENSAYO - PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE**

Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>
-------------------	-----	-------------------

Peso Unitario		
Item	Valor	Unidad
V. del recipiente	0,002707	m <sup>3</sup>
M. del recipiente	1,753	kg
M. del recipiente+muestra	2,41	kg
P. de la muestra	0,857	kg
P.U.	242,70	kg/m <sup>3</sup>

Densidad Teórica		
Item	Valor	Unidad
M. total de	0,857	kg
V. absoluto de los ingredientes	0,00157	m <sup>3</sup>
D. Teórica	418,47	kg/m <sup>3</sup>

Contenido de aire del Ho		
Peso Unitario	D. Teórica	Contenido de aire
242,70	418,47	42,00

ELABORADO POR:  
ANRANGO SANCHEZ  
RONALD CRUZ

REVISADO POR:  
ING. RICHARD RAMIREZ

## Anexo 12 Dosificación para Hormigón Celular de 400 kg/m<sup>3</sup> Sika Poro Plus

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA												
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06												
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RY 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <span style="float: right;"><b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO</span> <b>MUESTRA:</b> ARENA												
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO												
ENSAYO - MESA DE FLUJO												
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Densidad Aparente</td> <td style="width: 20%;">400</td> <td style="width: 40%;">kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>		Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>								
Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>										
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>D(l)</th> <th>Diametro promedio obtenido(mm)</th> <th>Diametro Inicial (mm)</th> <th>% Fluidez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>172,77</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">172,60</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">101,6</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">69,88</td> </tr> <tr> <td>172,56</td> </tr> <tr> <td>172,71</td> </tr> <tr> <td>172,37</td> </tr> </tbody> </table>		D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez	172,77	172,60	101,6	69,88	172,56	172,71	172,37
D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez									
172,77	172,60	101,6	69,88									
172,56												
172,71												
172,37												
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ											

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA																																	
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06																																	
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RY 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <span style="float: right;"><b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO</span> <b>MUESTRA:</b> ARENA																																	
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR																																	
ENSAYO - TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN CELULAR																																	
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Muestra Patron</td> <td style="width: 20%;">ARENA - SIKA</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td>400</td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>		Muestra Patron	ARENA - SIKA		Densidad	400	kg/m <sup>3</sup>																										
Muestra Patron	ARENA - SIKA																																
Densidad	400	kg/m <sup>3</sup>																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Hora de inicio del ensayo</th> <th style="width: 20%;">Lecturas</th> <th style="width: 20%;">Tiempo (min)</th> <th style="width: 40%;">Penetracion (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="9" style="text-align: center;">9:15</td> <td style="text-align: center;">9:15</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9:45</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10:25</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11:05</td> <td style="text-align: center;">110</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11:55</td> <td style="text-align: center;">160</td> <td style="text-align: center;">38</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12:35</td> <td style="text-align: center;">200</td> <td style="text-align: center;">35</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">13:00</td> <td style="text-align: center;">225</td> <td style="text-align: center;">28,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">13:10</td> <td style="text-align: center;">235</td> <td style="text-align: center;">26</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">13:15</td> <td style="text-align: center;">240</td> <td style="text-align: center;">25</td> </tr> </tbody> </table>		Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetracion (mm)	9:15	9:15	0	40	9:45	30	40	10:25	70	40	11:05	110	40	11:55	160	38	12:35	200	35	13:00	225	28,5	13:10	235	26	13:15	240	25
Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetracion (mm)																														
9:15	9:15	0	40																														
	9:45	30	40																														
	10:25	70	40																														
	11:05	110	40																														
	11:55	160	38																														
	12:35	200	35																														
	13:00	225	28,5																														
	13:10	235	26																														
	13:15	240	25																														
<div style="text-align: center;"> <h3>TIEMPO DE FRAGUADO</h3> <p>The graph plots Penetration (mm) on the y-axis (0 to 50) against Time (min) on the x-axis (0 to 260). A blue line with diamond markers shows the curing time. The penetration is constant at 40 mm from 0 to 120 minutes, then drops to 38 mm at 160 minutes, 35 mm at 200 minutes, 28.5 mm at 225 minutes, 26 mm at 235 minutes, and 25 mm at 240 minutes.</p> </div>																																	
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ																																

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA																					
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06																					
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <span style="float: right;"><b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO</span> <b>MUESTRA:</b> ARENA																					
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO																					
ENSAYO - PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)</th> <th rowspan="2">Agregado fino</th> <th rowspan="2">a/c</th> <th rowspan="2">D. Espuma (kg/m<sup>3</sup>)</th> <th colspan="2">Asentamiento</th> </tr> <tr> <th>pulg</th> <th>cm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>400</td> <td>HORMIGON</td> <td>0,5625</td> <td>53</td> <td>11,54</td> <td>29,3</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>MORTERO</td> <td>0,557</td> <td>51</td> <td>11,81</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>		densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado fino	a/c	D. Espuma (kg/m <sup>3</sup> )	Asentamiento		pulg	cm	400	HORMIGON	0,5625	53	11,54	29,3	400	MORTERO	0,557	51	11,81	30
densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado fino					a/c	D. Espuma (kg/m <sup>3</sup> )	Asentamiento													
		pulg	cm																		
400	HORMIGON	0,5625	53	11,54	29,3																
400	MORTERO	0,557	51	11,81	30																
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ																				

### Anexo 13 Dosificación para Cemento Celular de 400 kg/m<sup>3</sup> KV-LITE AFF

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA												
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06												
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <span style="float: right;"><b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO</span> <b>MUESTRA:</b> ARENA												
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO												
ENSAYO - MESA DE FLUJO												
<table border="1"> <tr> <td>Densidad Aparente</td> <td>400</td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>		Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>								
Densidad Aparente	400	kg/m <sup>3</sup>										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>D(l)</th> <th>Diametro promedio obtenido(mm)</th> <th>Diametro Inicial (mm)</th> <th>% Fluidez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>183,62</td> <td rowspan="4">183,32</td> <td rowspan="4">101,6</td> <td rowspan="4">80,43</td> </tr> <tr> <td>182,88</td> </tr> <tr> <td>183,65</td> </tr> <tr> <td>183,13</td> </tr> </tbody> </table>		D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez	183,62	183,32	101,6	80,43	182,88	183,65	183,13
D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez									
183,62	183,32	101,6	80,43									
182,88												
183,65												
183,13												
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ											

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06			
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKÁ PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <b>MUESTRA:</b> MORTERO			
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR			
ENSAYO - TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN CELULAR			
Muestra Patron	MORTERO - KV LITE		
Densidad	400 kg/m <sup>3</sup>		
Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetración (mm)
10:15	10:05	0	40
	11:05	60	40
	12:05	120	40
	12:50	165	31
	13:05	180	26
	13:10	185	25
TIEMPO DE FRAGUADO			
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ		

*Anexo 14 Dosificación para Cemento Celular de 400 kg/m<sup>3</sup> RV 2000-2*

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06			
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKÁ PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO <b>MUESTRA:</b> ARENA			
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO			
ENSAYO - MESA DE FLUJO			
Densidad Aparente	400 kg/m <sup>3</sup>		
D(l)	Diametro promedio obtenido(mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez
183,62	183,32	101,6	80,43
182,88			
183,65			
183,13			
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ	REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ		

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06			
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M <sup>3</sup> CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <span style="float: right;"><b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO</span> <b>MUESTRA:</b> ARENA			
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR			
ENSAYO - TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN CELULAR			
Muestra Patron	MORTERO - RV 2000		
Densidad	400 kg/m <sup>3</sup>		
Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetración (mm)
10:15	10:05	0	40
	11:05	60	40
	12:05	120	40
	12:50	150	31
	13:05	165	26
	13:10	175	25
<p style="text-align: right;">Área del gráfico</p>			
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ		REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ	

*Anexo 15 Dosificación para Cemento Celular de 400 kg/m<sup>3</sup> Sika Poro Plus*

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA			
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06			
<b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M <sup>3</sup> CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO) <b>TESISTAS:</b> ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO <span style="float: right;"><b>TUTOR:</b> ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO</span> <b>MUESTRA:</b> ARENA			
CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR EN ESTADO FRESCO			
ENSAYO - MESA DE FLUJO			
Densidad Aparente	400 kg/m <sup>3</sup>		
D(I)	Diametro promedio obtenida (mm)	Diametro Inicial (mm)	% Fluidez
182,62	182,32	101,6	80,43
182,88			
182,65			
182,13			
ELABORADO POR: JAIRO MORA		REVISADO POR: ROGELIO GOMEZ <span style="float: right;">ING. RICHARD RAMIREZ</span>	



DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06

**TESIS:** ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RY 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)

**TESISTAS:** ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO  
ALEJANDRO

**TUTOR:** ING. VELIZ AGUAYO

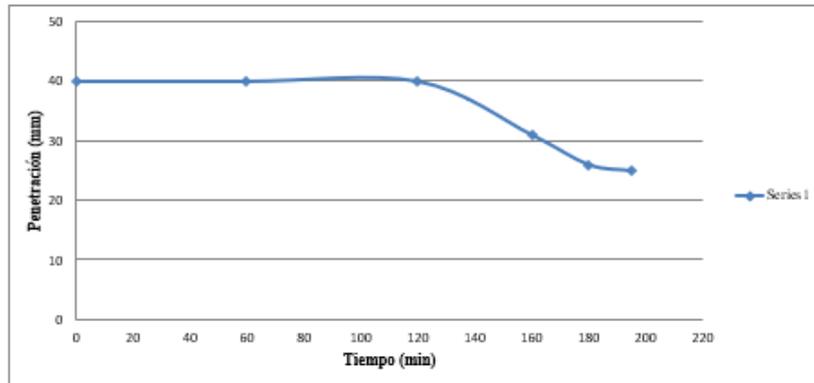
**MUESTRA:** ARENA

**CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN CELULAR**

**ENSAYO - TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN CELULAR**

Muestra Patron	MORTERO - SIKA
Densidad	400 kg/m <sup>3</sup>

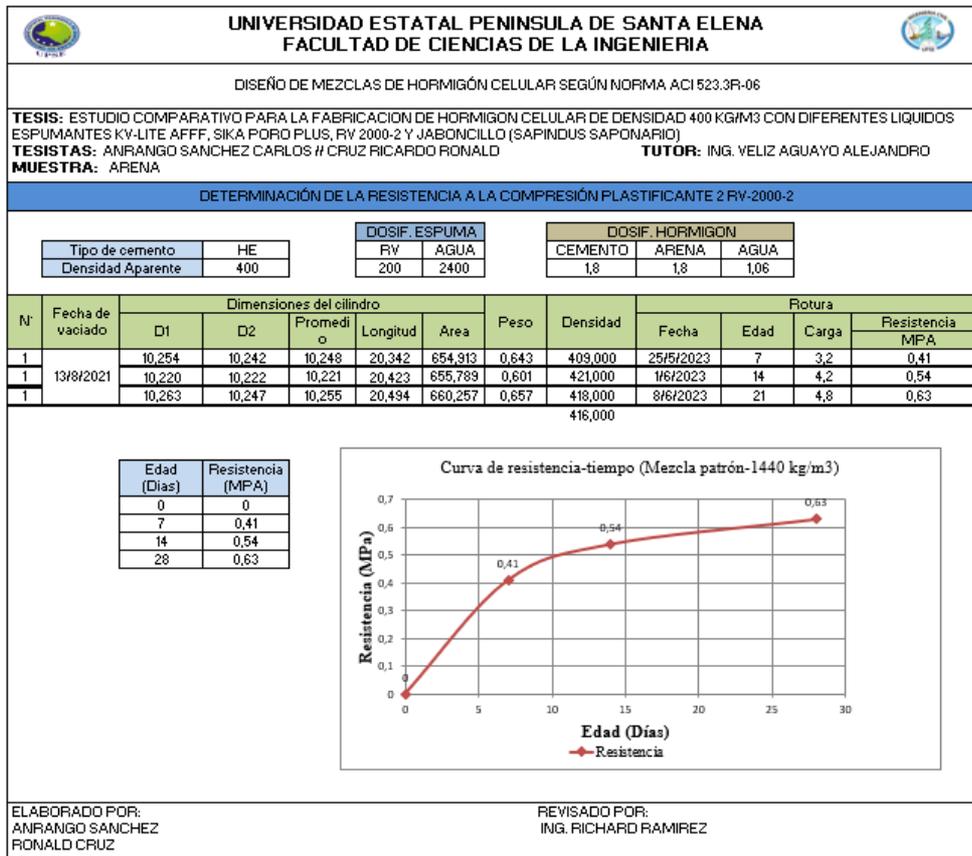
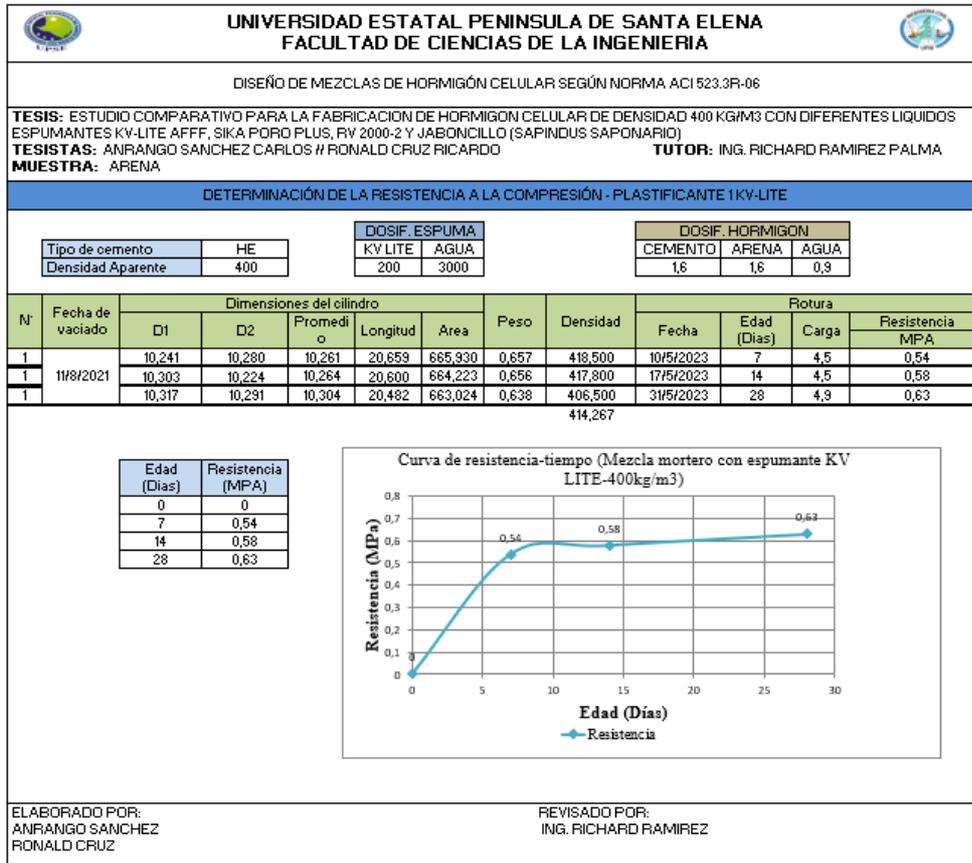
Hora de inicio del ensayo	Lecturas	Tiempo (min)	Penetracion (mm)
10:15	10:05	0	40
	11:05	60	40
	12:05	120	40
	12:50	160	31
	13:05	180	26
	13:10	195	25

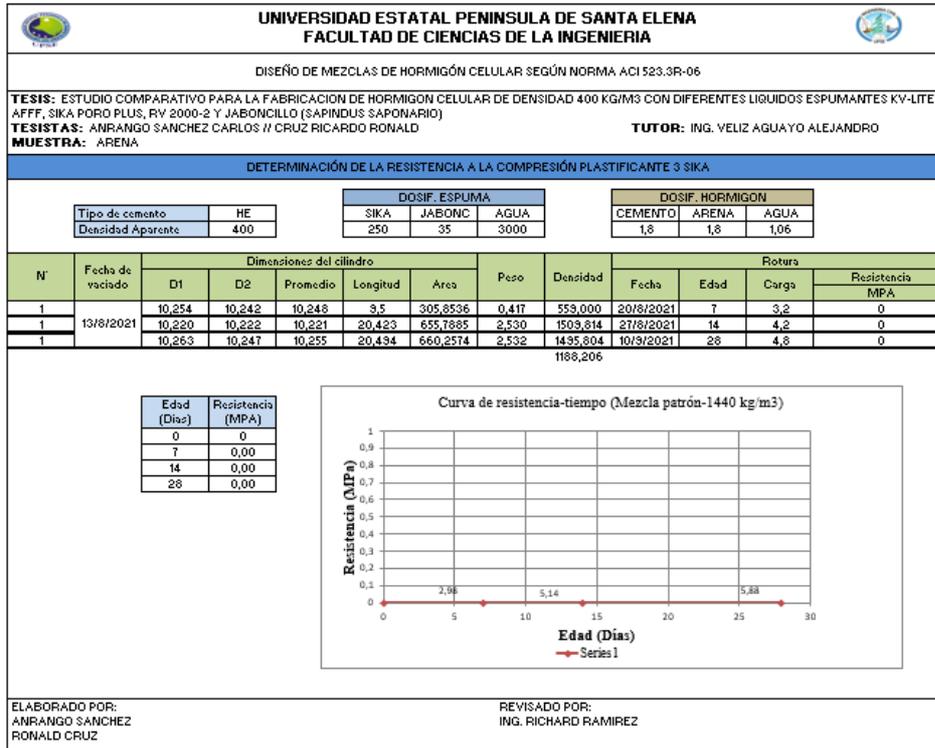


ELABORADO POR:  
ANRANGO SANCHEZ  
RONALD CRUZ

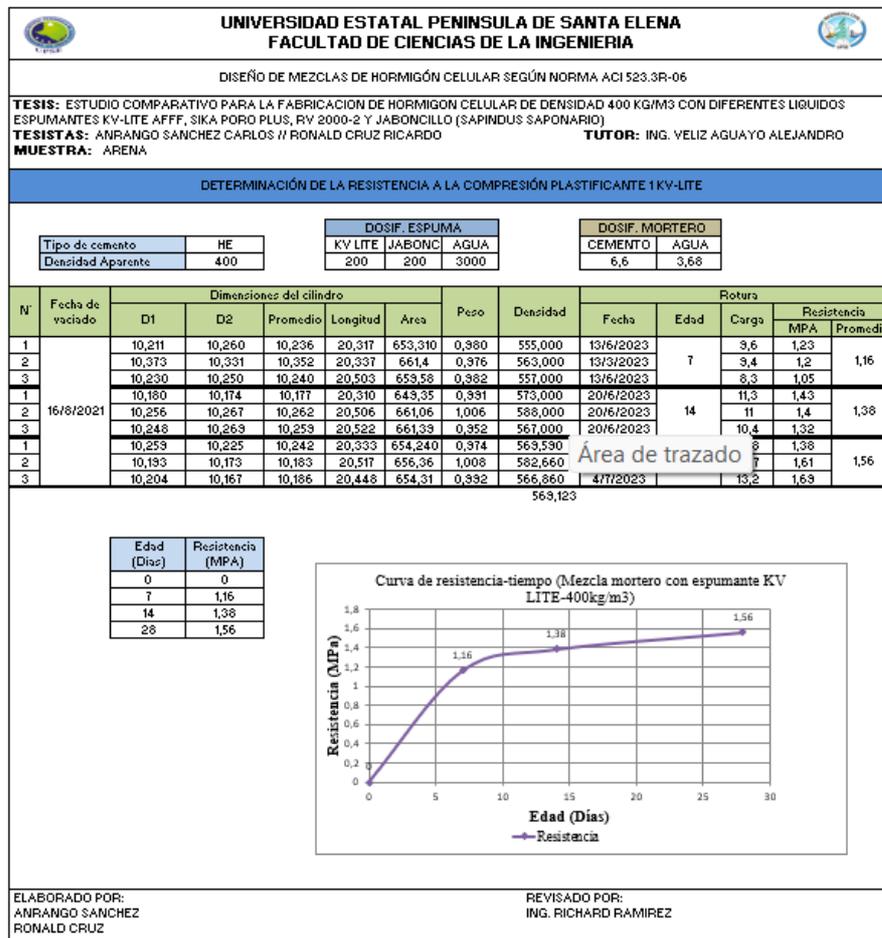
REVISADO POR:  
ING. RICHARD RAMIREZ

**Anexo 16** Registro de resistencia a la comprensión y flexión del hormigón celular de los diferentes espumantes





*Anexo 17 Registro de resistencia a la compresión y flexión del cemento celular de los diferentes espumantes*





**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA**



DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06

**TESIS:** ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKAPORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)

**TESTISTAS:** ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO

**TUTOR:** ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO

**MUESTRA:** ARENA

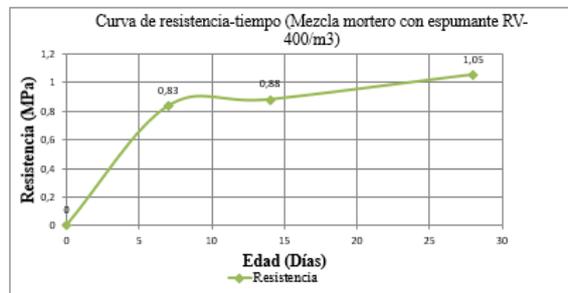
**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PLASTIFICANTE 2**

Tipo de cemento	HE	DOSIF. ESPUMA			DOSIF. MORTERO	
Densidad Aparente	400	RV	JABONC	AGUA	CEMENTO	AGUA
		250	35	3000	6,6	3,68

N°	Fecha de vaciado	Dimensiones del cilindro					Peso	Densidad	Rotura					
		D1	D2	Promedio	Longitud	Area			Fecha	Edad	Carga	Resistencia MPA	Promedio	
1	23/8/2021	10,125	10,136	10,131	20,202	642,948	0,756	458,000	15/6/2023	7	6,6	0,84	0,83	
2		10,101	10,121	10,111	20,315	645,300	0,812	461,000	15/6/2023		6	0,77		
3		10,020	10,010	10,015	20,324	639,457	0,801	455,000	15/6/2023		7	0,89		
1		10,213	10,114	10,164	20,284	647,661	0,684	395,000	22/6/2023	14	6,7	0,86		
2		10,343	10,262	10,303	20,407	660,500	0,84	480,000	22/6/2023		6,8	0,87		
3		10,142	10,201	10,172	20,417	652,421	0,821	550,000	22/6/2023		7,2	0,92		
1		10,260	10,262	10,261	20,445	653,064	0,802	496,000	6/7/2023	28	8,5	1,08		1,05
2		10,308	10,340	10,324	20,395	661,489	0,815	468,000	6/7/2023		8,1	1,03		
3		10,243	10,243	10,243	20,479	659,002	0,718	452,000	6/7/2023		8,3	1,05		

467,000

Edad (Dias)	Resistencia (MPa)
0	0
7	0,83
14	0,88
28	1,05



ELABORADO POR:  
ANRANGO SANCHEZ  
RONALD CRUZ

REVISADO POR:  
ING. RICHARD RAMIREZ



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA**



DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06

**TESIS:** ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFFF, SIKAPORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)

**TESTISTAS:** ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO

**TUTOR:** ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO

**MUESTRA:** ARENA

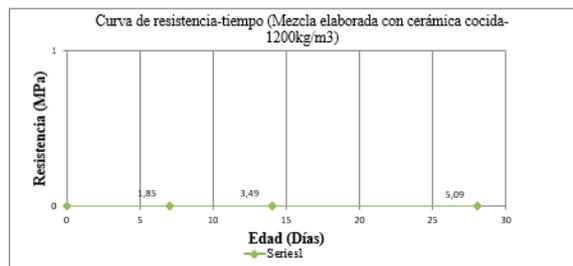
**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PLASTIFICANTE 2**

Tipo de cemento	HE	DOSIF. ESPUMA		DOSIF. HORMIGON	
Densidad Aparente	400	SIKA	AGUA	CEMENTO	AGUA
		250	3000	3,3	1,84

N°	Fecha de vaciado	Dimensiones del cilindro					Peso	Densidad	Rotura					
		D1	D2	Promedio	Longitud	Area			Fecha	Edad	Carga	Resistencia MPA	Promedio	
1	23/8/2021	10,125	10,136	10,131	20,202	642,94842	2,023	1242,364	30/8/2021	7	6,6	0	0,00	
2		10,101	10,121	10,111	20,315	645,300	2,015	1235,319	30/8/2021		6	0,00		
3		10,020	10,010	10,015	20,324	639,45653	2,002	1250,438	30/8/2021		7	0,00		
1		10,213	10,114	10,164	20,284	647,66105	2,038	1238,436	6/9/2021	14	28,7	0		
2		10,343	10,262	10,303	20,407	660,500	2,045	1202,093	6/9/2021		26,9	0		
3		10,142	10,201	10,172	20,417	652,42083	2,069	1247,118	6/9/2021		26,5	0,00		
1		10,260	10,262	10,261	20,445	659,06415	2,122	1255,128	20/9/2021	28	42,3	0		0,00
2		10,308	10,340	10,324	20,395	661,48895	2,036	1227,667	20/9/2021		37,9	0		
3		10,243	10,243	10,243	20,479	659,00211	2,053	1216,564	20/9/2021		39,7	0		

1235,014

Edad (Dias)	Resistencia
0	0
7	0,00
14	0,00
28	0,00

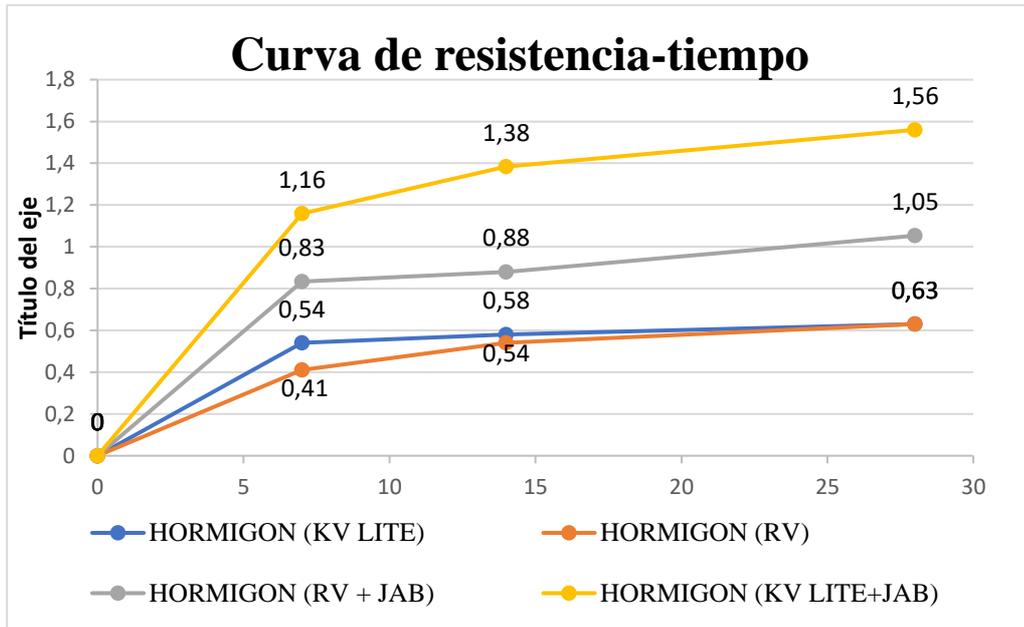


ELABORADO POR:  
SANCHEZ  
RONALD CRUZ

REVISADO POR:  
ING. RICHARD RAMIREZ

ANRANGO

Anexo 18 Registro de comparación de las resistencias con mejores resultados



Anexo 19 Registro de resistencia con diferentes dosificaciones

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

DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M<sup>3</sup> CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KV-LITE AFF, SIK A PORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)  
 TESISTAS: ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO TUTOR: ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO  
 MUESTRA: ARENA

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PLASTIFICANTE 2 MUESTRA 2

Tipo de cemento		DOSIF. ESPUMA			DOSIF. MORTERO	
HE		RV	JABONC	AGUA	CEMENTO	AGUA
Densidad Aparente 400		200	200	2400	6,9	3,6

N°	Fecha de vaciado	Dimensiones del cilindro						Peso	Densidad	Fotura			
		D1	D2	Promedio	Longitud	Area	Fecha			Edad	Carga	Resistencia MPA	Promedio
1	23/8/2021	10,125	10,136	10,131	20,202	642,948	0,903	513,000	13/6/2023	7	8,4	1,07	0,99
2		10,101	10,121	10,111	20,315	645,300	0,831	529,000	13/6/2023		7,2	0,92	
3		10,020	10,010	10,015	20,324	639,457	0,833	473,000	13/6/2023		7,6	0,97	
1		10,213	10,114	10,164	20,284	647,661	0,845	538,000	20/6/2023	14	8,1	1,04	1,07
2		10,343	10,262	10,303	20,407	660,500	0,888	507,000	20/6/2023		8,6	1,1	
3		10,142	10,201	10,172	20,417	652,421	0,808	515,000	20/6/2023		8,3	1,06	
1		10,260	10,262	10,261	20,445	659,064	0,845	528,000	4/7/2023	28	9,9	1,26	1,21
2		10,308	10,340	10,324	20,395	661,489	0,848	493,000	4/7/2023		9,6	1,23	
3		10,243	10,243	10,243	20,479	659,002	0,858	517,000	4/7/2023		9	1,14	

512,556

Edad (Días)	Resistencia (MPa)
0	0
7	0,99
14	1,07
28	1,21

Curva de resistencia-tiempo (Mezcla elaborada con cerámica cocida-1200kg/m<sup>3</sup>)

ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ, RONALD CRUZ  
 REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA																							
DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN NORMA ACI 523.3R-06																							
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FABRICACION DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M <sup>3</sup> CON DIFERENTES LIQUIDOS ESPUMANTES KY-LITE AFF, SIKAPORO PLUS, RV 2000-2 Y JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIO)																							
TESISTAS: ANRANGO SANCHEZ CARLOS # RONALD CRUZ RICARDO TUTOR: ING. VELIZ AGUIAYO ALEJANDRO																							
MUESTRA: ARENA																							
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PLASTIFICANTE 2																							
Tipo de cemento		HE		DOSIF. ESPUMA				DOSIF. MORTERO															
Densidad Aparente		400		RV	JABONC	AGUA	CEMENTO	AGUA															
				250	100	3000	6,6	3,68															
N°	Fecha de vaciado	Dimensiones del cilindro					Peso	Densidad	Rotura														
		D1	D2	Promedio	Longitud	Area			Fecha	Edad	Carga	Resistencia MPA	Resistencia Promedio										
1	23/8/2021	10,125	10,136	10,131	20,202	642,948	0,883	502,000	14/6/2023	7	5	0,64	0,66										
2		10,101	10,121	10,111	20,315	645,300	0,802	456,000	14/6/2023		5,5	0,70											
3		10,020	10,010	10,015	20,324	639,457	0,881	501,000	14/6/2023		5	0,63											
1		10,213	10,114	10,164	20,284	647,661	0,813	511,000	21/6/2023	14	7,3	0,93	0,88										
2		10,343	10,262	10,303	20,407	660,500	0,889	505,000	21/6/2023		6,7	0,85											
3		10,142	10,201	10,172	20,417	652,421	0,809	509,000	21/6/2023		6,8	0,86											
1		10,260	10,262	10,261	20,445	659,064	0,827	478,000	5/7/2023	28	6,9	0,88	0,91										
2		10,308	10,340	10,324	20,395	661,489	0,825	504,000	5/7/2023		7,2	0,92											
3		10,243	10,243	10,243	20,479	659,002	0,795	482,000	5/7/2023		7,2	0,92											
494,222																							
		Edad (Dias)		Resistencia (MPa)																			
		0		0																			
		7		0,66																			
		14		0,88																			
		28		0,91																			
<p style="text-align: center;">Curva de resistencia-tiempo (Mezcla elaborada con cerámica cocida-1200kg/m<sup>3</sup>)</p> <table border="1"> <caption>Data for Curva de resistencia-tiempo</caption> <thead> <tr> <th>Edad (Dias)</th> <th>Resistencia (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,66</td></tr> <tr><td>14</td><td>0,88</td></tr> <tr><td>28</td><td>0,91</td></tr> </tbody> </table>														Edad (Dias)	Resistencia (MPa)	0	0	7	0,66	14	0,88	28	0,91
Edad (Dias)	Resistencia (MPa)																						
0	0																						
7	0,66																						
14	0,88																						
28	0,91																						
ELABORADO POR: ANRANGO SANCHEZ RONALD CRUZ							REVISADO POR: ING. RICHARD RAMIREZ																

### Anexo 20 Asesoría por parte del tutor



## Anexo 21 Tabla de Precio Unitario para espumante RV 2000-2 y KV-LITE AFFF

NOMBRE DEL PROPONENTE:

PROYECTO: CASA 2021-2

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 2,00 UNIDAD: M3

DETALLE: HORMIGON CELULAR D400 (KV LITE)

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% MO)					0,3121
Maquina generadora de espuma	1,000	2,1450	2,1450	0,5000	1,0730
Batidora manual	1,000	1,0000	1,0000	0,30000	0,300
SUBTOTAL M =					1,6851

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon (estr.ocp. E2)	3,000	4,0500	12,1500	0,3000	3,6450
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,0300	0,1365
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,1000	8,2000	0,3000	2,4600
SUBTOTAL N =					6,2415

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
Cemento tipo I(50 Kg)	saco	7,730	7,8600	60,7578
Agua	m3	0,200	1,0800	0,2160
Espuma Kv lite	lt	0,028	25,0000	0,7000
SUBTOTAL O =				61,6738

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
				0,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)				69,6004
INDIRECTOS Y UTILIDAD ..... 25,00%				17,4001
OTROS INDIRECTOS ..... %				
COSTO TOTAL DEL RUBRO				87,0005
<b>VALOR OFERTADO</b>				<b>\$ 87,00</b>

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1,00 UNIDAD: M3

DETALLE: HORMIGON CELULAR D400 (RV)

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% MO)					0,3121
Maquina generadora de espuma	1,000	2,1450	2,1450	0,5000	1,0730
Batidora manual	1,000	1,0000	1,0000	0,30000	0,300
SUBTOTAL M =					1,6851

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon (estr.ocp. E2)	3,000	4,0500	12,1500	0,3000	3,6450
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,0300	0,1365
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,1000	8,2000	0,3000	2,4600
SUBTOTAL N =					6,2415

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
Cemento tipo I(50 Kg)	saco	7,730	7,86	60,7578
Agua	m3	0,175	1,08	0,1890
Espuma Kv lite	lt	0,031	25,00	0,7750
SUBTOTAL O =				61,7218

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
				0,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)				69,6484
INDIRECTOS Y UTILIDAD ..... 25,00%				17,4121
OTROS INDIRECTOS ..... %				
COSTO TOTAL DEL RUBRO				87,0605
<b>VALOR OFERTADO</b>				<b>\$ 87,06</b>

**Anexo 22 Tabla de Precio Unitario para espumante RV 2000-2-Jab y KV-LITE  
AFFF-Jab**

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 1,00 UNIDAD: M3  
DETALLE: HORMIGON CELULAR D400 (RV)

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% MO)					0,3121
Maquina generadora de espuma	1,000	2,1450	2,1450	0,5000	1,0730
Batidora manual	1,000	1,0000	1,0000	0,30000	0,300
SUBTOTAL M =					1,6851
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon (estr.ocp. E2)	3,000	4,0500	12,1500	0,3000	3,6450
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,0300	0,1365
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,1000	8,2000	0,3000	2,4600
SUBTOTAL N =					6,2415
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento tipo I(50 Kg)	saco	7,730	7,86	60,7578	
Agua	m3	0,175	1,08	0,1890	
Espuma Rv	lt	0,031	25,00	0,7750	
Jaboncillo	gal	0,034	20,00	0,6813	
SUBTOTAL O =					62,4031
<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)					70,3297
INDIRECTOS Y UTILIDAD ..... 25,00%					17,5824
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					87,9121
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 87,91</b>

NOMBRE DEL PROPONENTE:

PROYECTO: CASA 2021-2

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 2,00 UNIDAD: M3  
DETALLE: HORMIGON CELULAR D400 (KV LITE)

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% MO)					0,3121
Maquina generadora de espuma	1,000	2,1450	2,1450	0,5000	1,0730
Batidora manual	1,000	1,0000	1,0000	0,30000	0,300
SUBTOTAL M =					1,6851
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peon (estr.ocp. E2)	3,000	4,0500	12,1500	0,3000	3,6450
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,0300	0,1365
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,1000	8,2000	0,3000	2,4600
SUBTOTAL N =					6,2415
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento tipo I(50 Kg)	saco	7,730	7,8600	60,7578	
Agua	m3	0,200	1,0800	0,2160	
Espuma Kv lite	lt	0,029	25,0000	0,7250	
Jaboncillo	gal	0,102	20,0000	2,0439	
SUBTOTAL O =					63,7427
<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)					71,6693
INDIRECTOS Y UTILIDAD ..... 25,00%					17,9173
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					89,5866
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 89,59</b>

*Anexo 23 Tabla de resistencia mínima para bloques de Hormigón Celular*

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 24 Ficha técnica de KV-LITE AFFF*



**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>	KV-LITE AR- AFFF FOAM CONCENTRATE, 3X3 & 3X6 %- ISI MARKED/UL LISTED
<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**

Personal Precautions:	Avoid contact with skin,eyes and clothing. Do not breathe mist,aerosols.
Personal 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.



**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
Sloubility	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 INFORMATION/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 intended. May cause nausea, vomiting 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



**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	Environmental 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 references	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.

#### INFORMACION 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

## 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 espumígeno 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 Ilaquito  
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

De Comercio Exterior  
Sistema Sika®  
Instituto de Normalización  
de Ecuador  
equador.ec

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

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

BUILDING TRUST





CEMENTO CHIMBORAZO

www.ucem.com.ec

FICHA TÉCNICA

# CEMENTO INDUSTRIAL DE ALTA RESISTENCIA INICIAL TIPO HE



## DESCRIPCIÓN

Cemento Chimborazo HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL, TIPO HE es un cemento que cumple estrictamente la norma INEN 2380, nuestra tecnología de punta permite cuidar y preservar el ambiente, reduciendo en gran escala la emisión de gases efecto invernadero.

Nuestro cemento es producido con Clinker, adiciones minerales, sulfato de calcio, estos componentes son dosificados en la molida obteniendo un producto de alta fineza y calidad.

Para asegurar la calidad mantenemos un sistema de gestión de calidad basado en la Norma ISO 9001.

## INFORMACIÓN TÉCNICA CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO HE

REQUISITOS QUÍMICOS	No se especifica en la Norma, sin embargo el cemento se analiza químicamente para fines informativos.		REQUISITOS NORMA NTE INEN 2380
REQUISITOS FÍSICOS	RANGO TÍPICO*	NORMA NTE INEN 2380	
Expansión en autoclave (%)	0.00120 a 0.0390	0.80 max.	
Fraguado Vicat Inicial (minuto)	110 a 140	45 min.	
Fraguado Vicat Final (minuto)	190 a 240	420 max.	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN <sup>parq</sup>	RANGO TÍPICO*	NORMA NTE INEN 2380	
1 días	14 a 16	12 MPa	
3 días	24 a 26	24 MPa	
7 días	28 a 31	No especificado	
28 días	32 a 38	No especificado	

\*Los rangos de valores típicos obedecen a valores promedios y pueden variar.

Ficha Técnica Cemento Chimborazo Tipo HE



UNION CEMENTERA NACIONAL

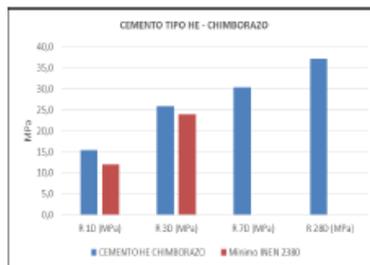
## PROPIEDADES

### DURABILIDAD

Es una propiedad que tiene Cemento Chimborazo HE de aportar al concreto endurecido una capacidad para resistir a la acción del medioambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil.

### MAYOR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los componentes químicos y mineralógicos del Clinker y la adición de puzolana y minerales brindan una mayor resistencia a la compresión a corto y largo plazo, por otro lado presenta bajo calor de hidratación, alta resistencia a los sulfatos y bajo contenido de álcalis solubles.



Cemento Chimborazo HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL, TIPO HE, al momento supera en un 40% los valores de resistencia a la compresión a la edad de 1 día y en un 20% a la edad de 3 días que son requisitos contemplados en la Norma INEN 2380.

### RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS

Debido a la capacidad de la puzolana para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el cemento HE es más resistente a los sulfatos y al ataque químico de otros iones agresivos.

La expansión del cemento HE, es menor al exigido en la norma. El producto cumple con requisitos establecidos en la Norma.

### MAYOR IMPERMEABILIDAD

El cemento Chimborazo tipo HE, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción, de los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos en la hidratación del cemento, disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace menos permeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

### DISMINUYE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI-AGREGADO

La puzolana utilizada en la fabricación de nuestro producto, tiene la propiedad de:

- Remover los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar a los agregados.
- Evita fisuras del concreto debido a la reacción expansiva álcali-agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.
- Controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional, se realiza por solicitud del interesado cuando el cemento es utilizado con agregados de álcali reactivos.

### DETERMINACIÓN DE REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA DE MORTERO ACELERADO DEFORMACIONES DE LAS BARRAS

EDAD (días)	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3	NORMA
2	0.000	0.000	0.000	0.100
6	0.009	0.008	0.010	0.100
9	0.014	0.014	0.016	0.100
13	0.026	0.027	0.028	0.100
16	0.041	0.041	0.042	0.100

Fuente: Laboratorio de materiales de construcción de Pontificia Universidad Católica de Quito