



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

**TEMA:**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA  
LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD  
DE 400 KG/M<sup>3</sup> (D400)”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORAS:**

**BORBOR YAGUAL JESSICA JANETH  
RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA**

**TUTOR:**

**ING. RAMÍREZ PALMA RICHARD IVAN, Mg**

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2023**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES  
PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE  
DENSIDAD DE 400 KG/M<sup>3</sup> (D400)

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORAS:**

BORBOR YAGUAL JESSICA JANETH  
RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA

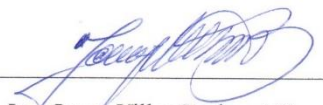
**TUTOR:**

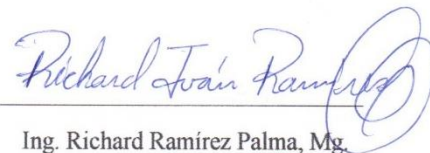
ING. RAMÍREZ PALMA RICHARD IVAN, Mg

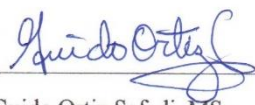
LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

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

f.   
Ing. Richard Ramírez Palma, Mg.  
**DOCENTE TUTOR**

f.   
Ing. Guido Ortiz Safadi, MSc  
**DIRECTOR ESPECIALISTA**

f.   
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.  
**DIRECTOR ESPECIALISTA**

# DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado enteramente a Dios, que me da la vida, la fuerza y la sabiduría para poder seguir en este proceso, y así poder culminar este tan ansiado logro.

A mis hijos que son fuente motivadora para lograr superarme, que han estado apoyándome.

A mis padres que siempre han estado ahí siendo incondicionales, con sus cuidados y consejos que a lo largo de mi vida me han servido para que yo logre mis objetivos.

A mis hermanos, por su apoyo moral, por estar prestos a ayudarme cuando los he necesitado.

A mis amigos que de una u otra manera han estado ahí siempre colaborándome con sus opiniones y recomendaciones.

***JESSICA BORBOR YAGUAL***

Este presente trabajo de Integración curricular va dedicado a Dios, por darme la vida y sabiduría necesaria para poder continuar con mis metas y no desmayar en el camino.

A mi ángel guardián, mi abuela a quien le debo mis primeras enseñanzas, que sé que desde el cielo me bendice cada día y su presencia espiritual me acompaña cada día.

A mis padres quienes son los pilares fundamentales por seguir luchando por mis sueños, la Lcda. Jenny González y el Sr. Néstor Ramos, que con sacrificios siempre han estado apoyándome en todo lo necesario en todas mis etapas de estudios y vida.

A mi esposo Ronald Soriano y a mis hermanas Gilda y Julexy que de alguna u otra manera han aportado para que pueda cumplir la meta tan anhelada.

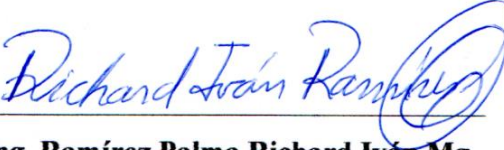
A mis amigos en especial a Rooxi y Johnny que me han brindado su apoyo incondicional en los momentos difíciles donde se conoce a los verdaderos amigos.

**EVELYN TATIANA RAMOS GONZÁLEZ**

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

La libertad 3 de diciembre de 2023

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/M3 (D400)**” elaborado por las estudiantes BORBOR YAGUAL JESSICA JANETH y RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA, 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 **7%** de la valoración permitida.



**Ing. Ramírez Palma Richard Iván Mg.**

**C.I.: 0912246451**

**FIRMA DEL TUTOR**

# Analisis Comparativo de tres tipos de agentes espumantes para la obtención de un hormigón celular de densidad 400 kg/m<sup>3</sup>



Nombre del documento: Analisis Comparativo de tres tipos de agentes espumante para la obtención de un hormigón celular de densidad 400.docx  
ID del documento: 258fba3b4c41a1c7eadcc3add90788ce4d7462  
Tamaño del documento original: 337,61 kB  
Autor: Evelyn Tatiana Ramos González

Depositante: Evelyn Tatiana Ramos González  
Fecha de depósito: 3/12/2023  
Tipo de carga: url\_submission  
fecha de fin de análisis: 3/12/2023

Número de palabras: 14.179  
Número de caracteres: 87.508

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>TESIS CRUZ R - ANRANGO C.docx</b>   *ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA FAB... <small>El documento proviene de mi grupo</small>	2%		Palabras idénticas: 2% (260 palabras)
2	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/96200/4923/1/UPSE-TIC-2023-0021.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/96200/4923/1/UPSE-TIC-2023-0021.pdf</a>	2%		Palabras idénticas: 2% (255 palabras)
3	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/96200/6219/1/UPSE-TIC-2023-0012.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/96200/6219/1/UPSE-TIC-2023-0012.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (126 palabras)
4	<b>repositorio.upse.edu.ec</b>   Diseño de hormigón celular en base a espumante RV-20... <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/96200/6940/1/UPSE-TIC-2023-0096.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/96200/6940/1/UPSE-TIC-2023-0096.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (123 palabras)
5	<b>www.dvilmac.com</b>   DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO <a href="https://www.dvilmac.com/estructuras/disenio-en-concreto-armado/">https://www.dvilmac.com/estructuras/disenio-en-concreto-armado/</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (91 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> <small>El documento proviene de otro grupo</small>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	<b>biblioteca.uajms.edu.bo</b> <a href="https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_rev/index_num.php?opnum_id=1-036">https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_rev/index_num.php?opnum_id=1-036</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
3	<b>dspace.ucaec.edu.ec</b>   Anteproyecto arquitectónico del complejo deportivo para ... <a href="https://dspace.ucaec.edu.ec/bitstream/11867/NDRA.L.WALTER.R.(2).pdf/bit">https://dspace.ucaec.edu.ec/bitstream/11867/NDRA.L.WALTER.R.(2).pdf/bit</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	<b>www.redalyc.org</b>   Estudio de tendencia: Aplicaciones de la Colofonia y sus deriva... <a href="https://www.redalyc.org/journal/707/70757670602.html/">https://www.redalyc.org/journal/707/70757670602.html/</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
5	<b>industryurker.com</b>   Hormigón celular: material, propiedades, ventajas y métodos... <a href="https://industryurker.com/blog-industrial/construccion/hormigon-celular-material-propiedades-ven...">https://industryurker.com/blog-industrial/construccion/hormigon-celular-material-propiedades-ven...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, BORBOR YAGUAL JESSICA JANETH y RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/M<sup>3</sup> (D400)”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, por lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos 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.

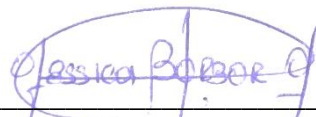
Atentamente,



**Ramos González Evelyn Tatiana**

**Autor de Tesis**

**C.I. 2400286692**



**Borbor Yagual Jessica Janeth**

**Autor de Tesis**

**C.I. 0917258576**



# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Ramirez Palma Richard Iván, Mg.

## TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM<sup>3</sup> (D400)” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por BORBOR YAGUAL JESSICA JANETH y RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA., egresado de la carrera de ingeniería civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Ramirez Palma Richard Iván, Mg.

TUTOR

# CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Yo, Magister. Gerónimo Eleodoro Tomalá Tomalá, Certifico: Que he revisado la ortografía y la reducción del trabajo de titulación **“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/M<sup>3</sup> (D400)”**, elaborado por Ramos González Evelyn Tatiana y Borbor Yagual Jessica Janeth, previo a la obtención del título de: **INGENIERO CIVIL** de la **Universidad Estatal Península de Santa Elena**.

Por tal motivo, he precedido a leer y analizar de manera profunda el estilo y forma del contenido del texto:

- Se denota pulcritud en la escritura.
- La aceptación es precisa.
- Se utiliza los signos de puntuación de manera acertada.
- No incurre en errores en la utilización de las letras.
- La aplicación de la sinonimia es correcta.
- Se maneja conocimiento y precisión de la morfosintaxis.

Por expuesto y en uso de mis derechos como Magister en DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS, recomiendo la VALIDEZ ORTOGRÁFICA de su tesis y dejo a vuestra consideración el certificado de rigor para los efectos legales correspondientes.

Atentamente,



MSc. Gerónimo Tomalá Tomalá

C.I. 0922433370

Registro senescyt: 1050-12-86029510

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi total agradecimiento a Dios que ha sido mi principal fuente de fortaleza y sabiduría para no desistir, a mi familia principalmente mis hijos y mis padres, ya que son ellos mi motivación.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, junto con los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil de brindarme los conocimientos a lo largo de la carrera universitaria, de una forma especial al Ing. Richard Ramírez Palma tutor de nuestro proyecto de grado, por su paciencia y brindarnos su apoyo.

A mi compañera de tesis, Evelyn Ramos González, por ser una excelente compañera, a la Ing. Lissette Barzola por brindarme su colaboración y estar presta a ayudarme en los procedimientos realizados, y a todas las personas que fueron parte de este proceso.

**JESSICA BORBOR YAGUAL**

A Dios por darme la vida, salud y sabiduría necesaria para poder cumplir con esta meta tan anhelada.

A mi familia que con su granito de arena aportaron a que lograra alcanzar el objetivo, a mi abuela quien fue la que me dicto mis primeras enseñanzas, por sus valiosos consejos que hasta el día de hoy llevo presente.

A mis maestros los ingenieros que con sus conocimientos aportaron para que pueda formarme como una profesional, a mi tutor Ing., Richard Ramírez Palma por sus enseñanzas que motivaban a seguir investigando más sobre el tema de estudio para lograr el objetivo final.

A mis amigos los que compartí buenos momentos y que han dejado sembrado su carisma y hermandad durante todos estos años de estudio que mutuamente nos apoyamos para no desmayar en la meta.

En especial a mi compañera de tesis Jessica Borbor Yagual que a pesar de las diferentes dificultades que nos hemos causados durante todo este tiempo de investigación, sin embargo, hemos logrado culminar esta anhelada meta que es el orgullo de nuestros familiares.

**EVELYN TATIANA RAMOS GONZÁLEZ**

# CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA.....	ix
AGRADECIMIENTOS .....	x
CONTENIDO .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xvi
LISTA DE TABLAS .....	xviii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxi
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	22
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN´ .....	24
1.2 ANTEDECENTES .....	25
1.3 HIPÓTESIS.....	27
1.3.1 Hipótesis General.....	27
1.3.2 Hipótesis Específica. ....	27
1.4 OBJETIVOS .....	28
1.4.1 Objetivo General.....	28
1.4.2 Objetivos Específicos .....	28
1.5 ALCANCE .....	28
1.6 VARIABLES .....	29
1.6.1 Variables independientes: .....	29
1.6.2 Variables dependientes: .....	29
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	30
2.1 DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN.....	30
2.2 HORMIGÓN LIVIANO O CELULAR. ....	31

2.2.1	Clasificación del hormigón alivianado o celular .....	31
2.2.2	Según su aplicación.....	33
2.3	<b>HORMIGÓN CELULAR.....</b>	<b>34</b>
2.4	<b>MÉTODOS PARA LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR. ....</b>	<b>35</b>
2.4.1	Hormigón celular con inclusión de burbujas .....	35
2.5	<b>APLICACIONES .....</b>	<b>36</b>
2.6	<b>PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR.....</b>	<b>37</b>
2.7	<b>VENTAJAS DEL HORMIGÓN CELULAR.....</b>	<b>38</b>
2.8	<b>DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN CELULAR.....</b>	<b>39</b>
2.9	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>39</b>
2.9.1	Cemento. ....	39
2.9.3	Agua. ....	43
2.9.4	Espumante. ....	44
2.9.5	Colofonía como agente espumante. ....	45
2.10	<b>EQUIPO PARA LA FABRICACIÓN DE ESPUMA.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA .....</b>		<b>48</b>
3.1	<b>TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>48</b>
3.1.1	Tipo. ....	48
3.1.2	Nivel.....	48
3.2	<b>MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>49</b>
3.2.1	Método. ....	49
3.2.2	Enfoque.....	49
3.2.3	Diseño.....	49
3.3	<b>POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....</b>	<b>50</b>
3.3.1	Población.....	50
3.3.2	Muestra. ....	50
3.3.3	Muestreo. ....	51
3.4	<b>METODOLOGÍA DEL O.E1.: Analizar las diferentes características de los materiales utilizados para la mezcla de hormigón, a través de registros</b>	

técnicos y ensayos de laboratorio que permitan visualizar su comportamiento.....	52
3.4.1 Cemento Chimborazo Tipo HE.....	52
3.4.2 Agua. ....	53
3.4.3 Espumante. ....	55
3.4.4 Obtención del árido fino.....	61
3.4.5 Ensayos realizados .....	61
3.5 Metodología del O.E2.: Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m <sup>3</sup> empleando los diferentes agentes espumantes (RV-2020+COLOFONIA) para la elaboración de las probetas y realizar los ensayos correspondientes en el laboratorio. ....	76
3.6 METODOLOGÍA DEL O.E3.: Obtener un análisis económico y técnico del comparativo de los diferentes resultados obtenidos del comportamiento físico-mecánico de las probetas de ensayos mediante la elaboración de cuadros estadísticos que permitan visualizar cual fue la mezcla con mejores propiedades como lo establece la norma (ACI 523.1R-06, 2006) .....	89
3.7 OPERACIÓN DE VARIABLES .....	90
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>91</b>
4.1 Análisis de las diferentes características de los materiales utilizados para la elaboración del hormigón celular. ....	91
4.2 Análisis del diseño de la mezcla espumantes RV+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS. ....	101
4.3.Análisis económico y técnico del comparativo de las diferentes mezclas de hormigón celular con los espumantes RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFF y SIKA PORO PLUS. ....	102
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
Anexo 1 Ensayo de granulometría del agregado fino. ....	113
Anexo 2 Registro fotográfico del ensayo de la Mesa de flujo.....	114

<b>Anexo 3 Registro de la densidad de los espumantes .....</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 4 Registro de estabilidad de las espumas .....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo 5 Registro de la fabricación del concreto celular con espumante RV2000-2 + COLOFONIA.....</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 6 Registro de la fabricación del concreto celular con espumante KV LITE AFFF.....</b>	<b>118</b>
<b>Anexo 7 Tamaño de las burbujas .....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 8 Registro fotográfico del ensayo a la compresión de los especímenes de hormigon celular. ....</b>	<b>120</b>
<b>Anexo 9 Análisis presupuestario de cada una de las dosificaciones con agregado fino y sin agredo fino. ....</b>	<b>121</b>
<b>Anexo 10 Ficha técnica COLOFONIA.....</b>	<b>127</b>
<b>Anexo 11 Ficha técnica de KV LITE AFFF.....</b>	<b>128</b>
<b>Anexo 12 Ficha técnica del SIKA PORO PLUS.....</b>	<b>129</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Hormigón Celular</i> .....	34
Figura 2 <i>Resina de Colofonia</i> .....	46
Figura 3 <i>Máquina generadora de espuma para la elaboración del hormigón celular</i> . ....	47
Figura 4 <i>Cemento Chimborazo tipo HE industrial</i> .....	53
Figura 5 <i>Empresa Pública Municipal Mancomunada</i> . ....	54
Figura 6 <i>Agente espumante RV 2000-2</i> .....	56
Figura 7 <i>KV-LITE-AFFF espumante #3</i> .....	58
Figura 8 <i>RV 2020 + COLOFONIA espumante #4</i> .....	59
Figura 9 <i>Estabilidad de espuma al inicio del ensayo</i> .....	67
Figura 10 <i>Estabilidad de espuma después de 24 horas</i> .....	67
Figura 11 <i>Tamaño de las burbujas en el hormigón celular en estado endurecido</i> .....	71
Figura 12 <i>Mesa de flujo</i> .....	72
Figura 13 <i>Tipos de rotura</i> . ....	87
Figura 14 <i>Tipos de fallas en los cilindros</i> .....	89
Figura 15 <i>Curva granulométrica del agregado fino</i> . ....	92
Figura 16 <i>Resultados de la estabilidad de los espumantes</i> . ....	94
Figura 17 <i>Densidad de los espumantes</i> .....	95
Figura 18 <i>Tamaño de las burbujas</i> .....	96
Figura 19 <i>Diagrama del coeficiente térmico vs tiempo</i> .....	96
Figura 20 <i>Curva de resistencia a la compresión RV2020+COLOFONIA</i> .....	97
Figura 21 <i>Curva de resistencia a la compresión RV2020+COLOFONIA sin agregado fino</i> . ....	98
Figura 22 <i>Curva de resistencia a la compresión KV LITE AFFF con agregado fino</i> .....	99
Figura 23 <i>Curva de resistencia a la compresión KV LITE AFFF sin agregado fino</i> .....	99

<b>Figura 24</b> <i>Curva de resistencia a la compresión KV LITE AFFF y RV2020+COLOFONIA</i> .....	<b>100</b>
<b>Figura 25</b> <i>Muestra de probetas fallidas con Sika poro plus</i> .....	<b>102</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clase de concreto ligero</i> .....	33
Tabla 2 <i>Requisitos físicos obligatorios para algunos tipos de cemento portland</i> .....	42
Tabla 3 <i>Análisis del agua de amasado y curado</i> .....	44
Tabla 4 <i>Datos técnicos de RV 2020 espumante #1</i> .....	55
Tabla 5 <i>Componentes del RV 2020</i> .....	56
Tabla 6 <i>Datos técnicos del Sika Poro Plus espumante #2</i> .....	57
Tabla 7 <i>Compuesto del Sika Poro Plus</i> .....	57
Tabla 8 <i>Datos técnicos del KV-LITE AFFF espumante #3</i> .....	58
Tabla 9 <i>Componentes del KV-LITE AFFF</i> .....	58
Tabla 10 <i>Datos técnicos del espumante en base a la colofonia</i> .....	59
Tabla 11 <i>Componentes del RV 2020+COLOFONIA</i> .....	60
Tabla 12 <i>Especificaciones técnicas del agregado fino según las normas ASTM C3/C33M, C144, C33/C330M o C332.</i> .....	62
Tabla 13 <i>Resultados de PH de los espumantes.</i> .....	70
Tabla 14 <i>Tamaño de las burbujas en el hormigón celular con los diferentes agentes espumantes.</i> .....	71
Tabla 15 <i>Tiempo de tolerancia admisible para ensayar las probetas</i> .....	74
Tabla 16 <i>Diseño para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular con espumante RV2020+COLOFONIA</i> .....	81
Tabla 17 <i>Diseño para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular con espumante RV2020+COLOFONIA</i> .....	85
Tabla 18 <i>Cuadro de operación de variables</i> .....	90
Tabla 19 <i>Agregado fino medio de acuerdo al módulo de finura del método ACI 523.1R</i> .....	91
Tabla 20 <i>Caracterización del agregado fino determinado para fabricación del hormigón celular</i> .....	92

<b>Tabla 21</b>	<b>Resultado del contenido de humedad de la arena .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 22</b>	<b>Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Mesa de flujo .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 23</b>	<b>Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Mesa de flujo .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 24</b>	<b>Resultados de la estabilidad de los espumantes.....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 25</b>	<b>Resultados de la densidad de los espumantes. ....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 26</b>	<b><i>Diseño para hormigón celular D400 .....</i></b>	<b>97</b>
<b>Tabla 27</b>	<b><i>Presupuesto referencial del diseño de la mezcla de hormigón con los diferentes agentes espumantes .....</i></b>	<b>103</b>

# **“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/M<sup>3</sup> (D400)”**

**Autoras:** Borbor Yagual Jessica Janeth

Ramos González Evelyn Tatiana

**Tutor:** Ing. Ramírez Palma Richard Iván, MSc.

## **RESUMEN**

El hormigón es uno de los principales materiales de construcción que por su gran peso vuelve a las estructuras muy pesadas lo que, si no están debidamente diseñadas, provocan que fallen estas al momento de presentarse un sismo, considerando que Ecuador es una zona de alta actividad sísmica, por eso que se considera al hormigón celular como un material para alivianar el peso de las construcciones. Por lo tanto, esta investigación se focalizó en fabricar un hormigón celular que cumpla con la densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> a través de ensayos experimentales, especialmente del espumante de RV 2020+COLOFONIA. Se aplicó el nivel de investigación explicativo como el aplicativo, el tipo de enfoque empleado es el método deductivo-hipotético, que se basa en realizar experimentos. Se utilizaron los parámetros recomendados por el ACI 523.1R-06 para el diseño de la mezcla. Este método se utiliza porque permite calcular la cantidad de los materiales necesarios en base a la densidad requerida. Se exponen los datos obtenidos de un diseño experimental que abarca la elaboración de especímenes de concreto cuya densidad es de 400 kg/m<sup>3</sup>, el cual alcanzó una resistencia a la compresión de 0,99 Mpa a los 28 días. Finalmente se concluye que para la obtención de hormigones de densidades bajas no se utiliza agregado fino.

**PALABRAS CLAVE:** *Hormigón celular, espumantes, resistencia, densidad, colofonia.*

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES  
PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGON CELULAR DE  
DENSIDAD DE 400 KG/M<sup>3</sup> (D400)”**

**Autoras:** Borbor Yagual Jessica Janeth

Ramos González Evelyn Tatiana

**Tutor:** Ing. Ramírez Palma Richard Iván, Mg.

## **ABSTRACT**

Concrete is one of the main construction materials that, due to its great weight, makes structures very heavy, which causes them to fail in the event of an earthquake, considering that Ecuador is an area of high seismic activity that is why cellular concrete is considered as a material to lighten the weight of the constructions. Therefore, this research focused on manufacturing a cellular concrete that complies with the density of 400 kg/m<sup>3</sup> through experimental tests, especially of the RV 2020+COLOFONIA foaming agent. The explanatory research level was applied as the applicative, the type of approach used the deductive-hypothetical method, which is based on conducting experiments, the parameters recommended by ACI 523 were used. 1R-06 for the design of the mix, this method is used because it allows calculating the amount of materials needed based on the required density, the data obtained from an experimental design that includes the elaboration of concrete specimens whose density is 400 kg/m<sup>3</sup>, which reached a compressive strength of 0.99 Mpa at 28 days, Finally, it is concluded that fine aggregate is not used to obtain low-density concrete.

Translated with DeepL.com (free version)

**KEYWORDS:** Cellular concrete, foaming agents, strength, density, rosin.

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales se ha identificado al hormigón como uno de los principales materiales más empleados en la construcción, por su bajo coste y su gran versatilidad de formas, gran consistencia y secado rápido (María Isabel Prieto Barrio, 2012, p. 21). Motivo por el cual es necesario buscar nuevas metodologías o alternativas que ayuden a realizar un hormigón más ligero que es el principal elemento utilizado para la construcción de grandes edificaciones. Una de estas alternativas ha llevado a que se realice el diseño del hormigón celular que es un hormigón menos denso, sin afectar significativamente su resistencia. (Vidaud, 2013)

El primer registro del uso del concreto en los tiempos modernos, se remonta a 1760 cuando, en Inglaterra, John Smeaton descubrió, mientras proyectaba el faro Eddystone, que una mezcla de caliza calcinada y arcilla deba lugar a un conglomerante hidráulico resistente al agua (Jose, Juan, & Herson, 2016). El cemento obtenido con este aglomerante se asemejaba a las piedras propias de la isla de Portland, al sur de Inglaterra, motivo por el cual se le llamo cemento Portland, material que comenzó a fabricarse con mayor fuerza desde entonces, Johnson descubrió que el mejor cemento provenía de la pulverización de esta sustancia inerte denominada Clinker, base de este cemento que se conoce hoy en día (Carlos Fuentes, 2018).

Como lo menciona (Troya, 2023) el uso del concreto ha venido evolucionando con el paso de los años, por ende, es considerado el elemento más importante que el hombre ha descubierto en el área de la construcción, debido a su gran durabilidad, propiedades mecánicas y físicas.

El mismo se compone de elementos de silicatos de calcio finalmente molidos y poca cantidad de aluminio de calcio. Estos elementos hacen que al mezclarse con

el agua produzca una pasta que fragua y se endurece con el pasar de los minutos, dando lugar a que se forme el denominado cemento (Ángel Barbudes, 2017).

Las primeras edificaciones construidas con hormigones estructurales livianos surgieron luego de la primera guerra mundial, por el año 1922 cuando empezó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas y considerando este el primer edificio construido con hormigón liviano estructural en toda la historia. (Cabezas, 2019).

El uso del hormigón liviano es considerablemente importante para aligerar las cargas adicionales en las estructuras en los casos de remodelación o fortalecimiento de las misma, así mismo describe que la auto compactación evita el uso de las vibraciones para la compactación del hormigón (Palacio, 2020).

La adición de fibras discretas de acero de alta resistencia resulta en una mejor ductilidad y mayor capacidad de carga resistente, por lo tanto, podemos determinar que el hormigón liviano puede ser empleado para la remodelación de elementos de hormigón armado para mejorar su resistencia a la flexión (Diana Pinedo, 2015).

El principal uso del hormigón celular es en el área de la construcción para la fabricación de estructuras para los grandes edificios, así mismo se usan para inyecciones, terrazas y losas que se usan para la pavimentación, además es empleado para realizar adobo en las paredes de ladrillos. Así mismo es empleado como material aislante por su aislamiento térmico (Palomo, 2017). Debido a todas estas propiedades del hormigón celular el ser humano ha empezado la búsqueda de nuevos elementos espumantes para bajar las densidades finales del concreto.

Por lo tanto, en este estudio se detallarán las principales características y propiedades del hormigón celular y del efecto que se produce usando tres tipos de espumantes distintos. Este proceso se lo ejecutarán con pruebas realizadas en el laboratorio para poder determinar el comportamiento de cada agente espumante incorporado en la mezcla del hormigón celular.



## 1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, en el sector de la construcción, el concreto es uno de los materiales más utilizados, donde su variedad de densidad o peso volumétrico es muy variable, con predominio de los concretos convencionales, que poseen alrededor de 210 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 28 días, sobre todo en la construcción de losas de entrepisos y azoteas ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas, personas y mobiliario (María, 2015).

El hormigón es un material muy pesado sobre todo en el uso de mampostería, azoteas y en elementos alivianados de entrepisos, ya que estos elementos no estructurales están contruidos bajo normativas para soportar las cargas vivas (mobiliarios y personas) factores que influyen en el diseño de las vigas de gran peralte y cimentaciones complejas incrementando el costo de construcción (Arroyo, 2023).

En el mundo entero se fabrican gran cantidad de cemento, que es el principal elemento para producir el hormigón, creando grandes emisiones de dióxido de carbono que afectan al medio ambiente; se producen 0,4 Toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cemento que se fabrica; esta cantidad de cemento demanda el uso de 1,7 toneladas de agua y 4,80 MW-h en recurso energéticos que afectan al medio ambiente (Arroyo, 2023).

Todas estas características son una problemática al generar un mayor impacto para el medio ambiente, por ende, muchos investigadores han presentado grandes resultados como la elaboración del hormigón celular o aireados de bajas densidades que van desde los 200 a 1920 kg/m<sup>3</sup> y buena resistencia a la compresión (Contreras, 2016).

De la misma manera, el hormigón celular se ha convertido en otro factor importante para reducir el peso de las estructuras ya que está compuesto por cemento, agregado fino y, un agente espumante que está basado en un concentrado de espuma, así como lo indica la normativa (ACI 523.1R-06, 2006). Sin embargo, este tipo de

hormigones no han sido aceptado de manera ampliamente en nuestro país debido a la falta de estudios y conocimientos sobre los nuevos métodos o agentes espumante que se pueden emplear (Fortes, 2016).

El presente trabajo de investigación busca tener otras alternativas de agentes espumantes haciendo un estudio de análisis comparativo entre 3 espumantes con diferentes características químicas, como materiales para la fabricación de hormigón celular de densidad de  $400 \text{ kg/cm}^3$  (D400).

Partiendo de estos elementos surge la necesidad de potenciar la utilización de concretos especiales, celulares para los sectores estratégicos, como viviendas, electricidad, gas/petróleo, salud y educación de Ecuador (María, 2015).

Motivo por el cual nuestro objetivo en este estudio es incrementar y difundir en el mercado y en el área de la industria de la construcción un hormigón celular con un agente espumante que pueda conservar la estabilidad de las burbujas de aire durante todo su proceso de elaboración, con resultados experimentales que sean capaces de resistir al ensayo de compresión, con la principal ventaja de crear un hormigón de baja densidad.

## **1.2 ANTEDECENTES**

Los romanos fueron los primeros en utilizar el hormigón alivianado, en el Panteón de Agripa – Italia, estructura que va disminuyendo su peso a medida que se incrementa su altura hasta que se llega a la cúpula que está compuesta por cemento y piedra pómez. Esta estructura ya llega aproximadamente dos mil años desde su construcción (Flor Chávez, 2019). Así mismo, el hormigón alivianado también es conocido como hormigón celular, es así que su impacto en la industria no fue de mayor relevancia por su proceso inicial constructivo y el costo (Yupangui, 2013).

En los últimos 30 años el hormigón celular se ha utilizado en el sector residencial tanto para nuevas construcciones grandes y medianas estructuras. Este tipo de

hormigón a nivel mundial es empleado para la fabricación de bloques y placas de aislamiento, así mismo en paredes reforzadas (Becosan, 2021).

En el ámbito nacional el uso del hormigón celular ha sido muy bajo, en el área de la construcción, por ejemplo, en la universidad de Cuenca se han realizado varios trabajos de tesis de pregrado y postgrado en la que los investigadores han utilizados materiales distintos como desperdicio de ladrillo, teja y cerámicas alternativas para la elaboración de los hormigones alivianados (Contreras, 2016)

El hormigón celular no ha tenido gran tendencia a nivel nacional, sin embargo, el mezclado tiene gran importancia en el resultado final, es decir cuan mayor es el tiempo de mezclado menor será su densidad; así mismo, las características de las mezcladoras deben de calibrar su velocidad de rotación y la forma de sus paletas, esto influye sobre las propiedades con las que se elabora el hormigón (Fortes, 2016).

El hormigón celular es considerado como uno de los hormigones de baja densidad, utilizado como material de construcción para elementos no estructurales en el Ecuador su uso es limitado y poco conocido; en nuestro país existen alrededor de 3,8 millones de viviendas inadecuadas, que pueden ser remodeladas con este tipo de hormigón (Arbitio Contreras, 2016).

En el ámbito local existen pocos precedentes relacionados a este tipo de investigación (Pezo & Figueroa, 2021) exponen que su trabajo de titulación se centra en diseñar un hormigón celular de densidad baja, pero con espumante RV-2020, cerámica cocida, agua, cemento tipo HE y aditivo.

(Ricardo & Sanchez, 2023), exponen que su trabajo de titulación se basa en un estudio comparativo para la fabricación de hormigón celular con densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> con diferentes líquidos espumantes KV-LITE, SIKA PORO PLUS, RV 2000-2 y Jaboncillo.

Basados en estos estudios se ha podido determinar que la fabricación de un hormigón celular si tiene relevancia a nivel constructivo para que pueda ser

utilizado como un nuevo material de construcción en la provincia de Santa Elena donde se tenga que construir grandes edificaciones para poder reducir el peso de las mismas debido a su gran magnitud.

## **1.3 HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis General.**

Demostración de que, mediante la implementación de diferentes agentes espumantes (KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS, RV 2002 + COLOFONIA) a un mortero con cemento tipo HE industrial, se influirá para obtener un hormigón celular con densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$ , considerando las propiedades físico-mecánicas de cada uno de dichos agentes espumantes.

### **1.3.2 Hipótesis Específica.**

**H.E.1:** Los registros técnicos de cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio permitirán el análisis del comportamiento de las diferentes características de los materiales de la mezcla de hormigón celular.

**H.E.2:** La implementación de diferentes agentes espumantes como (RV 2020+COLOFONIA, KV-LITE AFFF, SIKA PORO PLUS,) permitirán la elaboración de probetas de hormigón celular con densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$ , para que puedan ser sometidas a ensayos de laboratorio.

**H.E.3:** El cálculo del análisis de los precios unitarios determinará el costo por  $\text{m}^3$  de las dosificaciones de cada una de las mezclas de hormigón celular con los distintos agentes espumantes (RV+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS) empleados en los diseños.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Fabricar un hormigón celular que cumpla con la densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> a través de ensayos experimentales con diferentes agentes espumantes, RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS, especialmente del espumante de RV 2020+COLOFONIA, para realizar un estudio comparativo de los resultados de hormigones celulares que cumplan con las propiedades establecidas.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

**O.E.1.:** Caracterizar los materiales del hormigón celular través de registros técnicos y ensayos de laboratorio que permitan el análisis de su comportamiento.

**O.E.2.:** Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> empleando los diferentes agentes espumantes RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS, para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos normalizados.

**O.E.3.:** Obtener un análisis técnico-económico comparativo de las diferentes mezclas de hormigón celular con cada uno de los agentes espumantes RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS, mediante el análisis de precios unitarios para determinar los costos por m<sup>3</sup> de las dosificaciones de cada uno de estos diseños.

## **1.5 ALCANCE**

Es esta investigación se enfoca hacia un impacto directo en la innovación en el área de la construcción junto a los trabajos de ingeniería mediante la introducción de alternativas del incremento de agentes espumantes y el proceso de elaboración de un diseño de hormigón celular.

Se describirán los conceptos fundamentales y las propiedades físico-mecánicas de cada material que será empleado en la fabricación de un hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

Se realizarán los diferentes ensayos de laboratorio que permitan determinar cuál de los materiales espumantes es óptimo para la elaboración de la mezcla de un hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> con resistencias que estén dentro del rango establecido en la Norma ACI 314.3R-14

Se expondrá la metodología para la realización de los ensayos de laboratorio con las distintas dosificaciones de hormigón celular y se analizarán los resultados de forma cuantitativa, comparando uno a uno los agentes espumantes utilizados para la evaluación de su comportamiento mecánico, así mismo se utilizarán técnicas de recopilación de datos para poder obtener el nuevo método constructivo basado en los resultados de la investigación realizada y finalmente se presentará un diseño de hormigón celular que cumpla con todas las especificaciones técnicas en el área constructiva.

## **1.6 VARIABLES**

### **1.6.1 Variables independientes:**

- Hormigón celular con densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.
- Densidad de los diferentes espumante, KV-LITE, SIKA PORO PLUS y RV2000-2+COLOFONIA

### **1.6.2 Variables dependientes:**

- Costo de elaboración del hormigón celular con RV+COLOFONIA.
- Resistencia a la compresión del hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

Se presentan los conceptos y definiciones claves que serán utilizados a lo largo del estudio, estableciendo la base conceptual sobre la cual se fundamentará la investigación. Esta revisión permitirá identificar las principales variables, métodos y enfoques utilizados en la línea de investigación seleccionada.

### **2.1 DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN**

Según, (Nautica, 2015) el hormigón o concreto es un material heterogéneo empleado en el área de la construcción, compuesto principalmente por un aglomerante (cemento) al mismo que se agregan partículas o fragmentos de un agregado tales como (áridos, grava, gravilla y arena) agua y aditivos. Mientras que la mezcla del cemento con arena y agua se denomina mortero. El hormigón es el principal elemento en la construcción debido a sus propiedades, características o cualidades básicas, así mismo por sus cuatro propiedades principales que son la trabajabilidad, cohesión, resistencia y durabilidad (Castellanos, 2017)

La palabra “Hormigón” se deriva de vocablos franceses “Betón” derivan del latín “bitumen/bituminis” que significa lodo que se iba espesando. El vocablo inglés “concrete” también se deriva del latín teniendo el significado de denso compacto. El vocablo “clinker” da nombre al producto intermedio en la fabricación del cemento ( Escuela de Ingeniería Técnica Civil, 2007).

El hormigón es un elemento que se convierte en una pasta flexible de manejar, generando varias opciones de diseño al momento de incrementar a su mezcla aditivos de tipo pigmento, impermeabilizante, acelerante de fraguado, entre otros, modificando y permitiendo al constructor personalizarlo de acuerdo a la necesidad que se establece en las normativas para las diferentes estructuras (Guarderas, 2023).

## **2.2 HORMIGÓN LIVIANO O CELULAR.**

El hormigón ligero estructural se define como aquel que posee una densidad aparente, medida en condición de seco hasta peso constante, es inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup>, pero superior a 1200 kg/m<sup>3</sup>, y que contiene una cierta parte de agregados de áridos ligero, tanto natural, como artificial y que tiene una resistencia mínima de 15 a 20 MPa. (CEMEX).

El hormigón ligero es aquel que presenta muchas utilidades para levantar estructuras en las que se necesita aligerar su peso, este tipo de hormigón se lo conoce por ser un elemento de baja densidad y conductividad, características que lo convierten en un aislante excelente cuya densidad sea igual o inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup> (Caicedo Wilson, 2019).

### **2.2.1 Clasificación del hormigón alivianado o celular.**

Los tipos de hormigones livianos que se encuentran en el área de la construcción dificultad su clasificación debido a los diferentes métodos de producción utilizados. Sin embargo, se puede determinar una clasificación junto con una breve redacción de los diferentes tipos de hormigón liviano. (Valdez et al., 2012)

#### **a) Hormigón de agregado ligero.**

El uso de los agregados livianos porosos o de menor gravedad específica, que son agregados naturales que se encuentran con una densidad promedio de 2600 kg/m<sup>3</sup> pueden ser sustituidos por agregados que pueden llegar a una densidad de 10 kg/m<sup>3</sup> como el poliestireno expandido o la escoria de horno que llega a valores de 1250 kg/m<sup>3</sup>. (Morales et al., 2019).

#### **b) Hormigón sin finos.**

Este tipo de hormigón es aquel en el que su composición se obtiene eliminando el agregado fino de una mezcla normal, quedando un hormigón



de tipo poroso con una mayor cantidad de huecos, debido a las burbujas de aires en él incorporadas; esta mezcla tiene como resultado una estructura de célula abierta. (Caicedo Wilson, 2019).

**c) Hormigón espumoso, aireado o celular.**

Como mencionan (Pezo & Figueroa, 2021) en el hormigón espumoso su composición está basada en cemento, agua, gas o espuma pre elaborada, lo cual permite que gracias a la adición de espuma en; la mezcla, se obtenga un hormigón de baja densidad.

La formación de los alvéolos dentro del hormigón espumoso se genera al incluir en el mortero un tipo de espumante prefabricado, en el cual, al momento de realizar el proceso de fraguado del hormigón, las burbujas de aire quedan atrapadas en la mezcla formando micro células que no están comunicadas entre sí (Michael & Katherine, 2022).

El hormigón aireado, en el mundo constructivo, es conocido por ser un buen agente térmico, el mismo que permite tener los interiores de una habitación o vivienda en un ambiente muy fresco en tiempo de verano e invierno, asimismo es resistente al agua (Pavicon BVC, 2018). La principal aplicación donde se utiliza el hormigón celular es en el área constructiva por los grandes beneficios que brinda.

La incorporación de espumas en la mezcla del mortero crea líneas de aire al interior de la misma, lo que le da origen a su nombre de aireado. Así mismo, se aplica para contrapisos, rellenos, terrazas o para pavimentación. Este tipo de hormigón se explica con mejor detalle en la siguiente tabla.

**Tabla 1***Clase de concreto ligero*

CLASES DE CONCRETO LIGERO DE ACUERDO CON EL PROCESO DE FABRICACIÓN			
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>• Arcilla o pizarras</li> <li>• Arcillas expandidas</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>	AGENTES QUÍMICOS <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polvo de aluminio</li> <li>• Peróxido de hidrógeno y cloruro de cal</li> <li>• Polvo de zinc</li> </ul>	AGENTES ESPUMOSOS <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espuma preformada</li> <li>• Espuma en la mezcla</li> </ul>

*Nota: Tomado de (Valdez, 2012)***2.2.2 Según su aplicación.****a) Aplicación del concreto ligero en aislamiento.**

Se usa primordialmente para la construcción de muros separadores, paneles, bloques, bovedillas, con el fin de tener un aislamiento térmico por su baja

conductividad térmica. Así mismo estas estructuras brindan protección contra fuego, por lo tanto, se puede emplear en estructuras mediante bloques o elementos prefabricados curados a vapor y en contrapisos (Palomo, 2017).

**b) Hormigón ligero estructural.**

Este tipo de uso se expresa que la mezcla del hormigón se fabrica a base de agregados ligeros. Los agregados ligeros más empleados para este tipo de hormigón para uso estructural, que están ligados a las normas establecidas en la ASTM C 330, son: esquistos, arcilla expandida y pizarra, por su composición porosa. (Gómez Rogelio - Mora Jairo, 2021)

### **2.3 HORMIGÓN CELULAR.**

El hormigón celular es un elemento más para la construcción en el campo de la ingeniería civil, es de color blanquecino y se obtiene a través de la mezcla dosificada de arena de sílice, cal y cemento a la misma que se le agrega un agente espumante a base de aluminio, que genera un efecto creando millones de microesferas de aire esparcidas por toda la mezcla. (SRL., 2022). El hormigón celular cuenta con muchas cualidades físicas que combinan aislamiento y resistencia, mantiene un ambiente interior agradable al ser utilizados en bloques o paneles para las diferentes edificaciones. (BECOSAN, 2021)

**Figura 1**

*Hormigón Celular*



El (American Concrete Institute, 2002) define al hormigón celular como “un producto ligero que está conformado por cemento portland con material fino de silíceo, arena, ceniza volante, escoria, y un agente espumante o un agente formador de gas que al combinarse con el agua forma una pasta homogénea, en la misma que se logra la incorporación de huecos que resultan de una reacción química del gas o mediante la incorporación mecánica de otros tipos de gases”.

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

Los diferentes métodos para la obtención del hormigón celular han presentados buenos resultados con el transcurrir del tiempo los mismo que se detallaran con sus debidas características.

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

Con este tipo de procedimiento los hormigones celulares se dividen en dos grandes grupos, dependiendo de cómo se realice la mezcla (Arbitó, 2016).

- Hormigón Celular con base de espuma.
- Hormigón Celular por desprendimientos de gases.

#### **a) Hormigón celular en base de espuma.**

Para la fabricación de este tipo de hormigón se debe considerar la dosificación del agua y el espumante al momento del mezclado ya que al ejecutar este proceso se genera una tensión superficial que puede provocar que las burbujas de aire se rompan y se obtenga un mal resultado de mezcla (Luzón & Junior, 2021, p. 19)

Se puede emplear los siguientes elementos espumosos: detergentes, jabones resinosos y colas animales o vegetales, saponina, sulfato, resinas vinílicas, proteínas hidrolizadas. Algunos de estos agentes espumantes no son tan

fáciles de conseguir en el mercado nacional, sin embargo varios investigadores han realizados diferentes pruebas con estos tipos de espumante presentando una buena tenacidad de burbujas hasta que se produce el proceso de fraguado de la mezcla. (Arbitro Contreras, 2016).

**b) Hormigón Celular por desprendimientos de gases.**

Este proceso por desprendimiento de gases en la mezcla genera que se formen burbujas de aire en la mezcla formando así un hormigón de tipo celular (Fabricante de Especialidades Químicas, 2020).

Procedimiento para la obtención de las burbujas.

- Agregando a la mezcla dos principales productos químicos susceptibles para que reaccionan juntamente y provoquen un desprendimiento de gas al momento de ser incluidos en el agua.
- Agregar a la mezcla polvos metálicos y sales.
- Agregar a la mezcla productos químicos como levaduras orgánicas y fermentaciones lácticas que, por efectos de fermentación bajo calor, generen las burbujas.

Una reacción violenta a estos procesos de generación de burbujas de gases se junta todas entre sí generando un mayor volumen de burbujas cuando se utiliza el polvo de aluminio, o los silicatos de aluminio y calcio. Estos elementos provocan el fraguado con el calor del ambiente modificando sustancialmente la temperatura en la mezcla y por ende cambiando el volumen de la misma. (Arbitro Contreras, 2016)

## **2.5 APLICACIONES**

El hormigón celular se usa para aislamiento de calor por su baja conductividad térmica y por ser resistente al fuego. Para las estructuras se los utiliza en bloques curados con autoclave o como elementos premoldeados para las construcciones de

edificios, viviendas y paneles. La principal aplicación del hormigón celular es en el área de la construcción en obras como carpetas asfálticas, contrapisos, terrazas paneles y losas que se usan como base para la pavimentación (Dejtiar, 2019).

Sus aplicaciones para cada área varían dependiendo del tipo de densidad que se requiera en las obras.

- Hormigón celular con densidad entre 300 – 600 kg/m<sup>3</sup> elaborado con cemento y espuma, este tipo se lo usa para cubiertas y pisos.
- Hormigón celular con densidad entre 600 – 900 kg/m<sup>3</sup> elaborado con arena, cemento y espuma, este tipo se lo usa para bloques y paneles prefabricados para revestimiento o tabiques.
- Hormigón celular con densidad ente 900 – 1200 kg/m<sup>3</sup> elaborado con arena, cemento y espuma, se lo utiliza en paredes divisoras, para base y subbase.
- Hormigón celular con densidad entre 1600 – 1800 kg/m<sup>3</sup> elaborado con arena, cemento y espuma, este hormigón se lo utiliza para zanjas con mayor beneficio que el relleno tradicional, el mismo que logra fluir por debajo de las tuberías en lugares de dimensiones estrechas o de poco acceso y evita la formulación de vacíos (Pezo & Figueroa, 2021)

## **2.6 PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR**

Las diferentes propiedades del concreto celular lo han convertido en ser el primer elemento de construcción cuando se trata de espacios que requieren de aislamiento térmico entre otros.

- Reducción de peso (carga muerta). – al emplear este tipo de concreto en las diferentes edificaciones o estructuras se aprecian cargas muertas más aligeradas, si se presenta algún fenómeno natural, los muros pueden fallar debido a su magnitud, por ejemplo, de un sismo, pero estos muros si llegasen a caer sobre las personas no causarían daños físicos (Rengifo & Yupangui, 2013).

- Velocidad de construcción. – la no presencia del agregado grueso (grava) y el efecto de rodamiento que se genera en los poros proporcionan una buena consistencia al concreto, al momento de vaciar no necesita ser vibrado ya que el mismo se distribuye uniformemente (Rengifo & Yupangui, 2013).

## **2.7 VENTAJAS DEL HORMIGÓN CELULAR**

En el hormigón celular, unas de sus esenciales cualidades físicas es la combinación que tiene al ser aislante y resistente; estas inigualables características lo han convertido en una las principales alternativas en la construcción (BECOSAN, 2021)

Estas son los beneficios que ofrece:

- Rápido montaje. – su baja densidad permite incrementar la velocidad de instalación de bloques, aligerar el peso de transportación a obra.
- Resistencia a la compresión. – su resistencia va de la mano con la densidad, si su densidad es mayor, mayor será su resistencia.
- Resistente a la absorción del agua. – su absorción del agua es lenta, por ende, es considerado como un regulador de humedad.
- Aislante térmico. – las viviendas construidas con este tipo de hormigón mantienen un ambiente fresco tanto en invierno como en verano.
- Económico. – el peso del hormigón genera un importante ahorro en el costo de cimientos y estructuras.
- Durable. - el tiempo no es su enemigo, es duradero como las rocas y no se descompone.
- Absorción acústica. – reduce los ruidos exteriores hacia el interior de las viviendas.
- Versatilidad. – es versátil porque su modo de fabricación le permite elaborarse en distintas formas.
- Resistente al fuego. – su baja conductividad térmica, permite reducir el flujo de calor.

- Reduce la carga muerta de las estructuras. – no son materiales sismo resistente, pero sin embargo al llegar a fallar no genera efectos graves como el hormigón tradicional.

## **2.8 DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN CELULAR**

La principal desventaja del hormigón celular es su fragilidad; es muy frágil, ya que puede romperse si se golpea o se deja caer sobre estructuras y superficies duras (Fabricante de Especialidades Químicas, 2020). Así mismo existen otras desventajas de este tipo de hormigón en el área de la construcción:

- No es completamente reciclable.
- Tiene limitaciones en su uso estructural, el mismo que hace que sea restringible para otras áreas de la ingeniería.
- Necesita ser curado en cámaras herméticas altamente resistentes y costosas, especialmente si se trata de elementos de fabricación con luces de mayor magnitud.
- El hormigón celular es vulnerable a ataques químicos debido a su elevada porosidad (Pezo & Figueroa, 2021)

## **2.9 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

### **2.9.1 Cemento.**

El cemento es un material esencial en el área de la construcción, dado que es un conglomerante hidráulico que al mezclarlo con agua se forma una pasta moldeable, con una buena resistencia y durabilidad. Este tipo de material se lo obtiene calentándolo hasta llegar a la clinkerización del carbono, sílice y aluminio (Vidaud, 2013).

El primer cemento se lo generó en la antigua Grecia, país en el que se encontraron restos de cementos provenientes con rocas volcánicas de la isla de Santorini, las misma que, al juntarse, se genera una mezcla de alta resistencia que incluso expertos



en el tema afirman que los cementos que se fabricaban en esos tiempos eran mejor que los que se fabrican hoy en día a nivel mundial y local (Vidaud, 2013).

El año 1824, el 21 de octubre, Joseph Aspid y James Parker crearon este material para ser usado en las cimentaciones al mismo que se le dio el nombre de “Cemento Portland” ya que los materiales para la fabricación de este cemento se lo obtenían de una piedra caliza arcillosa y carbón (Vidaud, 2013).

El cemento portland es un conglomerante hidráulico, el mismo que lo convierte en un elemento inorgánico finamente molido que al juntarlo con el agua forma una pasta que fragua con el transcurrir de los minutos, se endurece y mantiene su resistencia y estabilidad incluso si este está bajo el agua (CEMEX, 2019).

#### **a) Usos del cemento portland**

Este tipo de cementos son muy utilizados en el área de la construcción con una gama alta en las estructuras (Pavicon BVC, 2018)

Se lo utiliza como mortero para rellenar las grietas que se presentan en las estructuras de hormigón armado.

- Este hormigón se lo utiliza para la construcción de postes de alumbrado público.
- El cemento se lo emplea habitualmente para elaborar tubos de hormigón, sillas de jardín, macetas y urnas para residuos de cualquier índole.
- Se lo utiliza para la construcción de pisos y contrapisos.
- También es usado para grandes edificaciones y construcciones de mayor relevancia como carreteras, ferrocarril y pavimentos que soporten grandes tránsitos.
- Es usado para la fabricación de bloques, adoquines y ladrillos.

## **b) Clasificación del cemento portland**

Afirma (David Valle, 2022), que en las normas NTE IENN 152/ASTM C150 y NTE INEN 2380/ASTM C1157 muestran la siguiente clasificación del cemento según su tipo.

### Cementos puros

- TIPO I. – es de uso común.
- TIPO II. – es de moderada resistencia a sulfatos.
- TIPO III. – tienen resistencia inicial elevada.
- TIPO IV. – bajo calor de hidratación.
- TIPO V. – es de alta resistencia a los sulfatos.
- TIPO IA, IIA, IIIA. – incorporadores de aire.

### Cementos por su desempeño

- TIPO GU. – es de uso en general.
- TIPO HE. – se lo usa para hormigón de alta resistencia inicial.
- TIPO MS. – se lo utiliza cuando se requiere obtener una moderada resistencia a los sulfatos.
- TIPO HS. – este tipo de cemento se lo utiliza para cuando se requiere obtener alta resistencia a los sulfatos.
- TIPO MH. – se emplea este cemento cuando se requiere tener alto calor de hidratación.
- TIPO LH. – se utiliza para cuando se requiere obtener bajo calor de hidratación.

**Tabla 2***Requisitos físicos obligatorios para algunos tipos de cemento portland*

CONCEPTO	TIPOS DE CEMENTO						
	PUROS		COMPUESTOS		POR SU DESEMPEÑO		
	INEN 152		INEN 490		INEN 2380		
	I	II	IP-I(PM)	IP(MS)	GU	HE	MS
Contenido de aire en el mortero % máximo	12	12	12	12	(*)	(*)	(*)
Finura(m <sup>2</sup> /kg) mínimo							
Turbidímetro	160	160	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Permeabilidad del aire	260	280	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Expansión en autoclave	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave % máximo	-	-	0,20	0,20	0,80	0,80	0,80
Resistencia a los sulfatos							
Expansión a 180 días % máximo	-	-	(**)	0,10	-	-	0,10
Tiempo de fraguado inicial							
Método de Vicut (minutos)							
No menor a:	45	45	45	45	45	45	45
No mayor a:	375	375	420	420	420	420	420
Resistencia a compresión (MPa)							
1 día mínimo:	-	-	-	-	-	10,0	-
3 días mínimo:	12,0	10,0	13,0	11,0	10,0	17,0	10,0
7 días mínimo:	28	28	25	25	-	-	-
28 días mínimo:							

*Nota: Tabla tomada de (Gómez Del Pezo & Mora Figueroa, 2022)*

### 2.9.2 Árido.

Como expresan los (Ferrovia, s.f). que los áridos para hormigón o los también conocidos áridos para la construcción son materiales como rocas, arenas y gravas

que al juntarlas al con el cemento y agua permiten que se forme el que ahora conocemos como mortero o el ya citado hormigón.

Señalan (Becosan, 2021), que en el mercado se puede encontrar diferentes tipos de áridos para la construcción, requeridas por las estructuras, uno de los áridos más comunes es la conocida arena que no supera los 5 milímetros de tamaño y la podemos encontrar con arena fina, gruesa, de río lavada y es muy valorada por su alto contenido en cuarzo.

(Urbina, 2022). Señala que la función principal de los áridos en el hormigón es aportar a la resistencia mecánica, así mismo vuelve al hormigón capaz de resistir a climas fríos sin sufrir fracturas y su esencial aportación es que ayudan a disminuir el consumo excesivo del cemento dentro de las diferentes mezclas del hormigón aportando a un menor gasto económico.

### **2.9.3 Agua.**

Define (Valle, 2022). que el agua es un elemento primordial para la fabricación del hormigón como se establece en el código ACI 318S-14, para que pueda ser utilizada como agua de mezclado en la fabricación del hormigón y así mismo después de su vaciado, el agua debe que se utilizará para el curado de las estructuras de hormigón cumpliendo la norma INEN 1855-1 y NTE INEN 1108.

Expresa (Gubio, et, al 2019). Que el agua que se emplea para generar el hormigón celular se dosifica en función del diseño, ya que en este tipo de hormigón el exceso de agua queda atrapada en los poros y posteriormente se evapora, tomando en cuenta que una mezcla con poca agua puede provocar que las burbujas de aire se rompan.

Consideraciones especiales del agua.

- El agua debe de ser potable.

- El agua no debe de estar contaminada ni ser agitada antes de incluirla a la mezcla del hormigón.

**Tabla 3**

*Análisis del agua de amasado y curado*

<b>Determinación</b>	<b>Limitación</b>	<b>Riesgo que se corren</b>	<b>Observaciones</b>
<b>PH</b>	Mínimo 5	Alteraciones en el fraguado y endurecimiento. Disminución de resistencia de durabilidad.	PH en un límite de 5 a 8.
<b>Contenidos en sulfato</b>	Máximo 1 gramo por litro	Alteraciones en el fraguado y endurecimiento; pérdidas de resistencia. Puede resultar gravemente afectada la durabilidad del hormigón.	Se debe ser más estricto con el agua de curado.
<b>Contenido en ion cloro</b>	Máximo 6 gramos por litro	Corrosión de armaduras u otros elementos metálicos. Otras alteraciones del hormigón.	Para hormigón en masa puede elevarse el límite de tres a cuatro veces.
<b>Hidratos de carbono</b>	No deben apreciarse	El hormigón no fragua. Otras alternativas en el fraguado y endurecimiento.	Alteran profundamente el mecanismo de fraguado.
<b>Sólidos de totales disueltos</b>	Máximo 15 gramos por litro	Aparición de eflorescencia u otro tipo de manchas. Pérdidas de resistencias mecánicas.	Por sustancias disueltas se entiende del residuo salino seco que se obtiene por evaporización de agua.

*Nota: Tomada de (Gómez Del Pezo & Mora Figueroa, 2022)*

#### **2.9.4 Espumante.**

(Luzón & Junior, 2021) menciona que para que se forme la espuma se basa en proteínas estabilizadoras que funcionan junto al agua y a un agente tenso-activo; este espumante es biodegradable y además atrapa el aire por medio de la espuma que se genera, sin tener que causarles alguna afectación a los demás elementos de la mezcla del hormigón celular.

Señala (Ricardo, 2023), que los espumantes que se emplean en la fabricación del hormigón celular sirven para mezclarlo con el agua mediante la combinación de un aditivo y aire. Como se conoce en el área de la construcción, los aditivos espumantes que se incorporan a la mezcla tienen un único objetivo que es generar en ellas microburbujas que se mezclan en la pasta del cemento, las mismas que están formadas por aire, agua y aditivo. (Omar Javier Silva, 2023)

Los agentes espumantes químicos son elementos que están compuestos de sólidos que se descomponen a las temperaturas para formar el gas que forman la llamada estructura celular; además, estas mismas estructuras se componen de celdas abiertas y cerradas, así mismo determinan que los agentes se pueden usar en diferentes formas y pueden ser orgánicos o inorgánicos. (Polímeros, 2019)

Determina (Mexpolímeros, 2020) que los agentes espumantes en expansión son reactivos que liberan gas durante su proceso de formación de materiales termoplásticos, por lo tanto, este proceso hace que estos tipos de agentes sean utilizados para reducir las densidades lo que conduce a la reducción en el peso del producto terminado y aportan a la disminución del costo en las estructuras de hormigón celular.

### **2.9.5 Colofonía como agente espumante.**

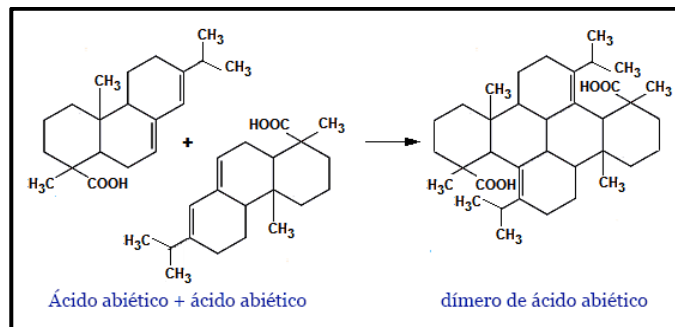
La resina de colofonia está conformada por la mezcla compleja de ácidos orgánicos y alcoholes, que es una sustancia química de una combinación de un ácido con alcohol; su compuesto químico es  $C_{20}H_{30}O_2$ . Así mismo, es importante tener en cuenta que la composición de esta puede variar dependiendo de la clase de pino de la que se extrae y del proceso de destilación utilizada (Química Industrial, 2023).

La colofonía genera características hidrofóbicas e hidrofílicas, que tienen relación con las propiedades físico-químicas del cemento portland, tales como el contenido del aire, absorción del agua, la capacidad adhesiva y algunas propiedades mecánicas (Tellería, Villanueva, & Henríquez, 2018).

La colofonia contribuye en cada una de las propiedades del mortero de cemento, influye actuando como aireante, ayudando a la porosidad del hormigón, aumenta su impermeabilidad, mejorando su adherencia de las pastas al árido y aumentando las resistencias a flexotracción y absorción. La colofonia tiene ventajas al ser un producto natural, y económico (Tellería, Villanueva, & Henríquez, 2018).

**Figura 2**

*Resina de Colofonia*



*Nota: tomado de (Magaly Henríquez, 2018)*

## 2.10 EQUIPO PARA LA FABRICACIÓN DE ESPUMA.

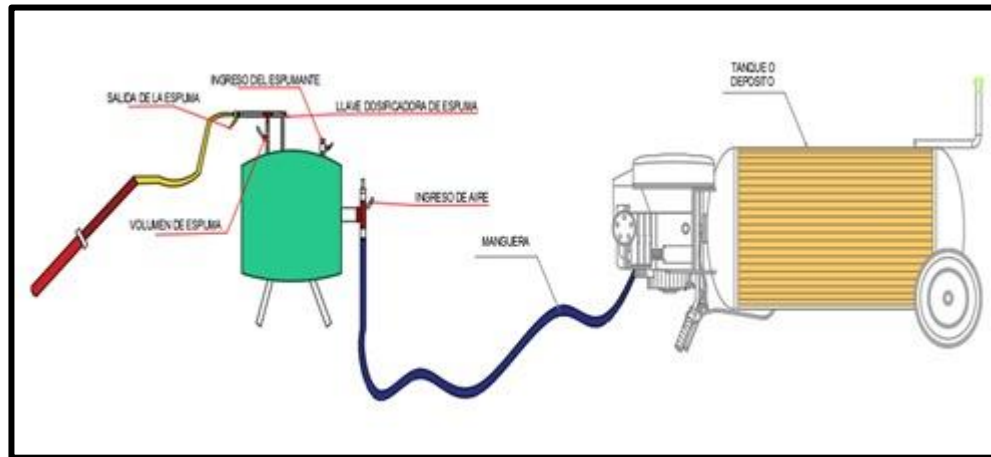
Existen muchas formas de fabricar espuma. Por lo que se opta por utilizar una máquina compuesta por una bomba neumática de diafragma conectado a un compresor que posee una presión que se estabiliza entre 80 y 100 psi para la generación de aire que, en conjunto, generan la espuma necesaria para mezclarla con el cemento y agua, para fabricar el hormigón celular.

Para el funcionamiento de la máquina generadora de espuma, primero se conecta la manguera del compresor a la entrada de aire de la máquina, se cierra la llave del paso de aire, luego se abre la entrada del líquido espumante y se lo agrega; una vez ingresado el líquido, se cierra esta llave y se abre la llave de entrada de aire. Se enciende el compresor y se espera que llegue a su máxima capacidad de presión de aire (100 PSI) y luego este se apaga automáticamente. De inmediato se empieza la calibración girando a 45° la manecilla del control de aire, después se regula la llave dosificadora de espuma según la consistencia de la espuma que se requiera y finalmente se abre la llave de salida de la espuma.

Es importante tomar en cuenta que de la calibración de la máquina generadora de espuma y la incorporación del tipo de líquido espumante que se utilice dependerá la densidad de espuma que se obtenga. (Alejandro, et, al 2023).

**Figura 3**

*Máquina generadora de espuma para la elaboración del hormigón celular.*





## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

En este capítulo se describe la metodología a utilizar para realizar el análisis comparativo de tres espumantes para obtener un hormigón celular de densidad 400 kg/m<sup>3</sup> (RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS) con una muestra patrón que cumpla con la densidad requerida y resistencia.

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

#### **3.1.1 Tipo.**

El estudio experimental está basado en un enfoque científico donde el investigador maneja una o más variables (Humberto, 2016). Basados en este enfoque se agregaron diferentes agentes espumantes a un mortero celular para obtener una dosificación de 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular con densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

Las pruebas efectuadas posteriormente se ejecutaron siguiendo las normativas aplicadas en los ensayos de laboratorio para así realizar un análisis comparativo de los tres tipos de espumantes (RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFF y SIKA PORO PLUS) empleados para el estudio.

#### **3.1.2 Nivel.**

Este tipo de análisis se aplica el nivel de investigación explicativo y aplicativo, el mismo que señala que el enfoque aplicativo abarca en realizar ensayos para determinar las diferentes dosificaciones necesarias para la fabricación del hormigón, mientras que el enfoque explicativo se basa en un análisis de resultados obtenidos de los ensayos a compresión de diferentes muestras de hormigón celular (Caucas, 2020).

## **3.2 MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 Método.**

Este tipo de enfoque empleado en el actual estudio es el método deductivo-hipotético, el mismo que se basa en realizar experimentos, para poder obtener la cantidad necesaria de espumante o el diseño del mortero para la obtención de un hormigón celular (José & Castellanos, 2017). Método que nos facilita la obtención de los diferentes resultados específicos a través de las observaciones y el criterio lógico que cumplan con las especificaciones de las normas establecidas para un hormigón celular.

### **3.2.2 Enfoque.**

Para esta investigación se utilizará el enfoque cuantitativo basado en la obtención de un hormigón celular, el mismo que requiere hallar las cantidades precisas para obtener una muestra exitosa, por ende, es primordial emplear medidas exactas y cuantificables en el proceso garantizando la obtención de resultados confiables. (José & Castellanos, 2017)

### **3.2.3 Diseño.**

Para realizar la mezcla del hormigón celular, se utilizó el método volumétrico  $f'c = 0,34 * e^{0,0022*γf}$  especificado en la (Norma NTE INEN 858, 2020.). Se lo conoce así porque este método se centra en obtener el peso volumétrico de la dosificación de cada uno de los elementos que componen el hormigón (Cortés, 2020). Este método se utiliza porque permite calcular la cantidad de mortero y la cantidad de espuma para obtener el diseño adecuado para 1 m<sup>3</sup> de mortero celular, considerando diferentes masas.

El diseño experimental empleado en esta investigación incluye una descripción detallada de cada uno de los ensayos empleados para la obtención de las muestras de hormigón, así mismo las características de los materiales utilizados y los ensayos ejecutados en el hormigón a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, los mismo que permiten evaluar tanto las propiedades mecánicas como su durabilidad y resistencia.

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

En todos los aspectos de la investigación y el análisis, la confluencia entre la población, la muestra y el proceso de muestreo aplican en este estudio un papel fundamental para la obtención de resultados (Andrea Parra, 2023). La población interpreta el conjunto total de individuos que son objetos de estudio.

#### **3.3.1 Población.**

La población de una investigación está compuesta por personas, objetos, organismo, historias entre otros aspectos dependiendo del área estudiada se generan más elementos de estudio. (Andrea Parra, 2023), En este estudio se investigó la elaboración de un hormigón celular en la Universidades Estatal Península de Santa Elena, así mismo las espumas que se emplearon en este estudio son las misma que ya fueron estudiadas en un proceso investigativo de hormigones celulares en la Universidad Estatal Península de Santa Elena. (Véliz Aguayo, 2023),

#### **3.3.2 Muestra.**

Define (Andrea Parra, 2023), que una muestra en la investigación determina a un subconjunto de la selección de la población estudiada. Este tipo de muestra se emplea con el único propósito de analizar la población de forma más eficiente ya que es más ágil de realizar el proceso cuantitativo y analizar la respectiva comparación de toda la población completa.

Así mismo se emplea una muestra total de 36 cilindros, los cuales fueron elaborados con dimensiones estándar de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Por lo tanto, estos cilindros seleccionados como una representación significativa del objeto de estudio. Para poder elegir la muestra concreta se estableció consideraciones metodológicas y prácticas.

La utilización de los diferentes cilindros estandarizados se garantizó la consistencia y uniformidad en las medidas de los componentes de estudio, facilitando su comparación y el análisis respectivo de los resultados obtenidos con los diferentes agentes espumantes empleados para la investigación.

Finalmente es considerable destacar que el tamaño de la muestra puede variar dependiendo de la naturaleza de estudio y los objetivos planteados en la investigación. Por lo tanto, se consideró que una muestra conveniente para alcanzar los resultados confiables y representativos de las variables establecidas. Por ende, estos cilindros se sometieron a los diferentes ensayos respectivos para adquirir los resultados deseados.

### **3.3.3 Muestreo.**

Según (Vidaud, 2013), el muestreo es una de las herramientas más utilizado para una selección de elementos de la muestra total de la investigación, es decir consiste en un conjunto de normas, reglas, procedimientos y criterios por medio de estos se puede seleccionar los elementos adecuados de una población que representa lo que sucede en toda el área de estudio.

En este estudio es necesario realizar un muestreo para considerar dos factores importantes: la aleatoriedad y la representatividad, así mismo la aleatoriedad está basada a los escases tanto aparente como real de un patrón o previsibilidad en los diferentes eventos, símbolos o pasos generalmente no cuentan con un orden y no persiguen un patrón maestro o una lógica combinación.

Los diferentes especímenes de hormigón celular fabricados en el laboratorio fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión, lo cual permite analizar el comportamiento mecánico de este material y estas pruebas fueron sometidas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, por ende, estos ensayos permiten interpretar como se comporta el hormigón en sus diferentes etapas.

### **3.4 METODOLOGÍA DEL O.E1.: Analizar las diferentes características de los materiales utilizados para la mezcla de hormigón, a través de registros técnicos y ensayos de laboratorio que permitan visualizar su comportamiento.**

#### **3.4.1 Cemento Chimborazo Tipo HE.**

El cemento Chimborazo de alta resistencia inicial, tipo HE es un elemento que cumple estrictamente con la norma INEN 2380, el grupo UCEM cuenta con una alta tecnología de última gama que permite preservar y cuidar el ambiente de los mismo, reduciendo así mayor parte de gases de efecto invernadero (Ficha Técnica del Cemento, 2023)

##### **a) Algunas características distintivas del cemento Chimborazo HE industrial.**

El cemento tipo HE cuenta con características específicas que varían de acuerdo al fabricante y las normas que rijan en cada país, por ende, es importante considerar y revisar las fichas técnicas que proporcionan cada fabricante de cemento Chimborazo para así poder verificar la información del mismo junto con las propiedades y usos en el área de la construcción. (Gustavo Velásquez, 2021)

##### **a) Alta resistencia.** Este tipo de cemento destaca en el mundo constructivo por su alta resistencia a la compresión.

- b) **Durabilidad.** Este tipo de cemento HE resalta en el área constructiva por su gran durabilidad que presenta a largo plazo, garantizando así su vida útil de las diferentes edificaciones.
- c) **Versatilidad.** Es adecuado para el mundo constructivo, tanto en proyectos residenciales, industriales y comerciales, así mismo se lo utiliza para la elaboración de concreto premezclado, morteros, hormigones armados y otros elementos de construcción.
- d) **Mayor impermeabilidad.** Este tipo de cemento genera una mayor cantidad de silicatos de calcio, por su reacción a los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos por la hidratación del cemento, reduciendo su porosidad capilar, factores que generan que este cemento se haga menos permeable y proteja a las estructuras. (Ficha Técnica del Cemento, 2023)

#### Figura 4

*Cemento Chimborazo tipo HE industrial*



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

#### 3.4.2 Agua.

Aguapen EP en la provincia de Santa Elena es la única empresa que distribuye el agua a nivel local, cuya función principal es abastecer de agua potable y de servicios

relacionados a través de la red de distribución a las áreas residenciales, comerciales e industriales. (ver figura 5) (Aguapen Ep., 2023). Esta empresa para poder distribuir el agua a toda la provincia realiza sus diferentes procesos del tratamiento del agua hasta que cumpla con las normativas de calidad vigente.

**a) Algunas características del agua potable.**

El agua es un elemento principal en el área de la construcción por ende es importante resaltar el proceso de tratamiento por el que pasa el agua hasta alcanzar las características específicas (BESCO, 2023). Se recomienda que para ser aplicada al área constructiva cumpla con la normativa vigente.

A continuación, se detallan algunas características que debe presentar el agua potable para ser utilizada en el mundo constructivo (Aceros Arequipa, 2020).

- a) Limpia y segura.
- b) Libre de elementos en suspensión.
- c) Libre de microorganismo patógenos.
- d) Libre de contaminantes orgánicos.
- e) Cumplir con la normativa

**Figura 5**

*Empresa Pública Municipal Mancomunada.*



*Nota: imagen tomada de (Aguapen Ep., 2023)*

### 3.4.3 Espumante.

El agente espumante es una combinación química en la que se fundamenta la utilización de tensoactivos que cuando se incorporan a las mezclas de hormigón celular, forman burbujas de pequeña magnitud que mejoran la estabilidad del aire y baja su tensión superficial. (Polímeros, 2019)

En esta indagación científica, se procedió a emplear un conjunto exhaustivo y meticulosamente seleccionando de tres tipos de espumantes distintos. Las diferentes entidades que fabrican estos tipos de espumantes se rigen las propiedades de cada uno de ellos dentro del estudio. (Ronald Cruz, 2023)

- a) **RV 2000-2 (Espumante 1):** Es un espumante que está compuesto por espesantes y estabilizantes, elementos que forman parte de la categoría de los surfactantes aniónicos. (Pezo & Figueroa, 2022).

En la tabla 4 se detalla los diferentes datos técnicos del agente espumante y en la tabla 5 se describe los ingredientes proporcionados en la ficha técnicas del fabricante.

**Tabla 4**

*Datos técnicos de RV 2020 espumante #1*

<b>Características</b>	
<b>Apariencia</b>	Líquido viscoso
<b>Calor</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 2020*



**Tabla 5**

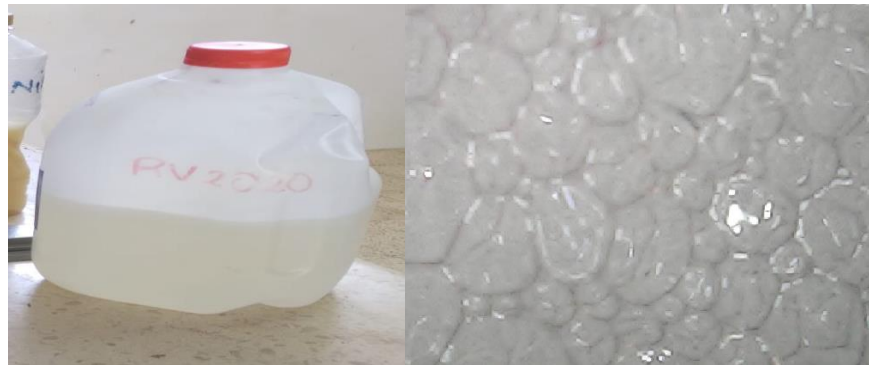
*Componentes del RV 2020*

<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 2020*

**Figura 6**

*Agente espumante RV 2000-2*



*Nota: Agente espumante utilizado en el estudio*

b) **Sika Poro Plus (Espumante 2):** Este tipo de agente espumante 2 se lo emplea en la fabricación de hormigón celular y encuentra aplicación en diversas áreas de la construcción, tanto como relleno para pisos, nivelación de pisos, excavación de zanjas, para cama de tendido de tuberías, minas, alrededor de edificios y piscinas, así mismo sirve como aislante térmico para las edificaciones disminuyendo el ruido (Sika Poro Plus, 2019).

En la tabla 6 se presentan los diferentes datos específicos del agente espumante 2 y en la tabla 7 se describe los componentes correspondientes.

**Tabla 6***Datos técnicos del Sika Poro Plus espumante #2*

<b>Características</b>	
<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>

*Nota: Ficha técnica del (Sika Poro Plus, 2019)***Tabla 7***Compuesto del Sika Poro Plus*

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

*Nota; Ficha técnica de Sika Poro Plus*

c) **KV-lite AFFF (Espumante 3):** este tipo de espumante es empleado para destruir incendios, es un espumante de un concentrado de espuma formado por una película acuosa (AFFF) la misma que produce que se forme una película superficial del combustible (Ronald Cruz, 2023).

Estas características han permitido que se convierta en un agente contra el fuego, permitiendo apagar las llamas rápidamente y sellar la superficie del material inflamable, esta formulación del espumante utiliza tensioactivos fluorados a base de C6 (Navi Mumbai, 2019).

En la tabla 8 se detallan los datos específicos del espumante 3, mientras que en la tabla 9 describe los ingredientes que componen el espumante.

**Tabla 8**

Datos técnicos del KV-LITE AFFF espumante #3

<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

*Nota: Ficha técnica del KV-LITE AFFF*

**Tabla 9**

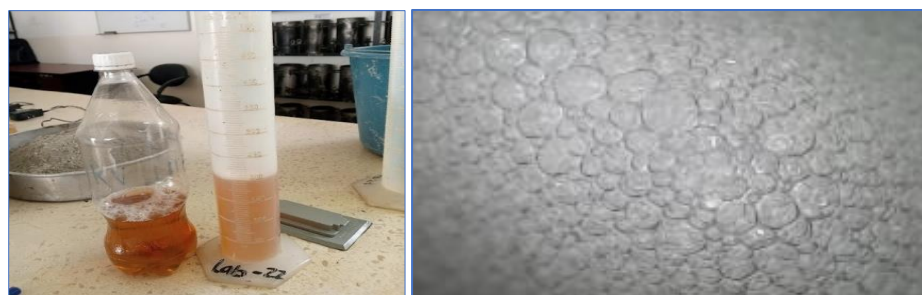
*Componentes del KV-LITE AFFF*

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

*Nota: Ficha técnica del KV-LITE AFFF*

**Figura 7**

*KV-LITE-AFFF espumante #3*



d) **Colofonia (Espumante 4):** Este espumante está conformado por un componente mayoritario de la resina de pino, junto con una mezcla de ácidos carboxílicos tricíclicos de alto peso molecular, formada por ácidos abiético y pimarico. (Quimpur José, 2017)

La colofonia es su composición pura se la puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones industriales, la misma que hasta la actualidad han generado un mayor valor en la formulación de productos de consumo son sus derivados. Por ende, tiene unas características físico-químicas que la hacen ser un agente de optimización en productos de pinturas finales. (Quimpur José, 2017)

**Figura 8**

*RV 2020 + COLOFONIA espumante #4*



**Tabla 10**

*Datos técnicos del espumante en base a la colofonia*

<b>Características</b>	
<b>Apariencia</b>	Líquida
<b>Color</b>	Amarillo Pálido
<b>Densidad</b>	29.6 kg/m <sup>3</sup>
<b>Solubilidad</b>	Agua
<b>PH (25° C)</b>	5.7

*Nota: Ficha técnica de la colofonia*

**Tabla 11***Componentes del RV 2020+COLOFONIA*

<b>Ingredientes</b>	<b>No. CAS</b>	<b>Concentración (% w/w)</b>
Colofonia	.....	10-20
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 2020*

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

❖ **Elaboración de espumante RV+COLOFONÍA.**

- a) Para la preparación de la solución, primero se pesó 400 ml de RV 2020 y 16 gramos de colofonia.
- b) Se trituró los 16 gramos de colofonia lo más finamente posible con el mazo del mortero.
- c) Con ayuda del tamiz No. 200 se tamiza ejerciendo una pequeña fuerza para tratar de diluir completamente la colofonia en el RV 2020.
- d) Se colocó esta solución en un recipiente cuya capacidad sea de 1 litro.
- e) Concluido el vaciado de la solución en el recipiente, se tapó y se agito de forma verticalmente durante unos minutos.
- f) Durante el proceso de agitación se observa si no se forman grumos en la solución, si se presentan grumos se deja reposar dicha solución durante unos 5 minutos o el tiempo necesario hasta observar que estos grumos se disuelvan.

- g) Cuando ya no se presentan grumos en la solución se coloca 600 ml de agua en el recipiente hasta su capacidad máxima de 1 litro.
- h) Concluido este proceso se deja fermentar por unos 3 tres días, porque a más tiempo de fermentación mejor consistencia de espuma se obtiene.

#### **3.4.4 Obtención del árido fino.**

El agregado fino que se empleó para este estudio se lo obtuvo mediante la desintegración natural de rocas, teniendo como resultado pequeñas partículas de diferentes tamaños que pasan por el tamiz 3/8 de pulgada y cumpla con la norma ASTM C33/C33M, C144, C330/C330 M o C332 (Humberto, 2016). Este tipo de agregado cumpla con lo establecido en las normativas para hormigones celulares livianos con una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>, pero este estudio se basa en la obtención de un hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>, (Huertas Nardy, 2021).

Por ende, después de varias pruebas realizadas para la obtención de dicho hormigón con el agregado fino no se cumplió con la densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> que es el objetivo de este estudio, ya que en las varias pruebas experimentales con el agregado fino el hormigón aumentaba su densidad en estado endurecido y no cumplía con la resistencia requerida en este estudio.

#### **3.4.5 Ensayos realizados**

Los ensayos que se realizan al hormigón son para comprobar sus características específicas requeridas en cada una de las diferentes dosificaciones de hormigón dependiendo del área constructiva requerida (Miguel Santos Amaya, 2019).

**a) Granulometría del agregado fino.**

Como se establece en el (ACI 523.1R-06, 2015), los agregados finos empleados para la generación de concreto celular deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas ASTM C33/C33M, C144, C330/C330M o C332 (Luzón & Junior, 2021). Las diferentes especificaciones técnicas del agregado fino se detallan en la siguiente tabla a continuación.

Los agregados finos deben de regirse con la granulometría que establecen las normas para garantizar la cohesión y manejabilidad en cualquier tipo de concreto.

**Tabla 12**

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

ESPECIFICACIONES ASTM		
Nº	Mn	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 mm	25-60
50	300 mm	5-30
100	150 mm	0-10

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

**a) Análisis granulométrico del Agregado Fino (ASTM C-136).**

Este ensayo granulométrico se basa en pasar muestras representativas del agregado fino mediante una serie de tamices establecidos con aberturas ordenadas de manera descendiente (NTE INEN 696, 2014).

❖ **Los equipos y materiales necesarios para llevar a cabo el ensayo de granulometría son los siguientes:**

- Tamices correspondientes para el agregado fino, según indica la norma ASTM C136.
- Horno con una temperatura estable de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Brocha,
- Cepillo metálico.
- Equipo de tamizado vibratorio.

❖ **Procedimiento para realizar el ensayo es el siguiente:**

- Se coloca en el horno una cantidad determinada de arena dejando a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se deja en horno para que pueda secar la humedad de la misma, para este estudio se tomaron 1200 gramos de arena para realizar el respectivo ensayo granulométrico. (Dr. Alberto Muciño, 2018)
- Se selecciona los tamices de 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y el fondo que basado en la norma ASTM.
- Se coloca los tamices de forma como se describe en el paso anterior.
- Se coloca la arena en los respectivos tamices y proceder hacer movimientos ligeros de forma vibratoria manualmente con todos los tamices juntos durante un tiempo aproximado de 1 minuto.
- Luego de realizar el respectivo tamizaje manualmente se coloca en la maquina vibratoria para que proceda hacer el acabado final.
- Posteriormente se recoge el material retenido en cada tamiz para su respectivo procedimiento de los cálculos.



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

La cantidad de porcentaje que queda retenido en cada tamiz se obtiene realizando una división del peso total retenido por el peso total de la muestra inicial y luego se multiplica el resultado por 100 para obtener el porcentaje. (Omar Javier Silva, 2023).

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

**b) Módulo de finura (MF)**

El módulo de finura se calcula sumando los diferentes porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz y se divide el resultado para 100, así como se detalla en la siguiente ecuación.

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

**Dónde:**

**MF**= Módulo de finura

**$\sum R$** = Suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices utilizados.

**c) Contenido de humedad según la norma (INEN 862, 2010) - (ASTM C-566)**

Con este ensayo se determinó el porcentaje de humedad presente en el agregado fino que se empleó para el estudio de la mezcla de hormigón celular.

Es importante señalar que el agregado fino seleccionado para diseñar un hormigón celular cumple con las normativas vigente para densidades de 800 kg/m<sup>3</sup>, pero este tema de investigación se basa en un diseño de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>, por la que este tipo de agregados finos no cumple para la obtener dicha densidad y en estudios anteriores para la obtención de estos hormigones de baja densidad no se ha empleado agregado fino.

❖ **Equipo y materiales necesarios para realizar el ensayo de contenido de humedad.**

- Horno con temperatura estable de 110°C ± 5°C.
- Agitador metálico.
- Balanza
- Recipiente.
- Mezcladora manual para mortero.

❖ **Procedimiento.**

- Se selecciona una muestra respectiva del agregado fino.
- Se selecciona un recipiente se anota su identificación y su respectivo peso.
- Pesar la muestra húmeda más el respectivo recipiente.
- Se coloca el recipiente al horno y se deja secar a una temperatura de 110°C por un tiempo de 24 horas.
- Retirar la muestra del horno y se deja enfriar al ambiente durante unos minutos.
- Se pesa la muestra seca para realizar los respectivos cálculos.

❖ **Ecuación para obtener el contenido de humedad del agregado fino.**

Ecuación para realizar el cálculo de humedad del agregado.

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

**Donde:**

**H**= Porcentaje de humedad.

**A**= Muestra húmeda.

**B**= Muestra seca.

**Resultados:**

$$Humedad = \left( \frac{438 - 419}{438} \right) \times 100$$

**d) Estabilidad de la espuma**

La estabilidad de una espuma se caracteriza por medio de dos mecanismos; el primero es la coalescencia que es donde las burbujas se agrupan entre ella para formar un nuevo tamaño de burbuja y el segundo método es adelgazamiento de la película es cuando las burbujas se acercan entre sí. (Ramón, 2020).

**Equipos y materiales:**

- Recipiente transparente.
- Batidora de mano

**Procedimiento**

- Se colocó el espumante en un recipiente transparente.

- Con una batidora de mano se bate el espumante por un lapso de 2 minutos hasta generar bastante espuma.
- Se deja reposar la espuma y se empieza a controlar el tiempo que demoran en desvanecerse las espumas.

**Figura 9**

*Estabilidad de espuma al inicio del ensayo*



**Figura 10**

*Estabilidad de espuma después de 24 horas*



**e) Densidad de los espumantes.**

La densidad de la espuma es aquella que se puede hallar mediante la relación peso/volumen de la espuma prefabricada.

❖ **Equipos y materiales:**

- Compresor de aire con capacidad de 116 PSI.
- Maquina generadora de espuma.
- Embudo.
- Probeta.
- Balanza.
- Recipiente.

❖ **Procedimiento**

- Se toma el peso de un recipiente cuyo volumen sea de un litro aproximadamente.
- Se coloca el espumante en la maquina generadora de espuma y se empieza a introducir aire con la ayuda de un compresor.
- Luego de unos minutos cuando el compresor llega a su máxima capacidad de 100 PSI, se procede a generar la espuma.
- Se coloca la espuma en el recipiente de un litro y se pesa para realizar los respectivos cálculos y obtener su densidad.

❖ **Ecuación para obtener la densidad de la espuma**

$$d = \frac{m}{v} \quad (4)$$

**Donde:**

**d**= densidad

**m**= masa de la muestra

**v**= volumen del recipiente

Reemplazamos datos para obtener la densidad del espumante  
RV+COLOFONIA.

$$d = \frac{0,213 - 0,125}{0,0017}$$
$$d = 51,76 \text{ kg/m}^3$$

Reemplazamos datos para obtener la densidad del espumante KV LITE AFFF.

$$d = \frac{0,214 - 0,125}{0,0017}$$
$$d = 52,33 \text{ kg/m}^3$$

Reemplazamos datos para obtener la densidad del espumante SIKA PORO PLUS.

$$d = \frac{0,212 - 0,125}{0,0017}$$
$$d = 51,18 \text{ kg/m}^3$$

#### f) PH de los espumantes.

El ensayo de PH en cada uno de los espumantes nos permite medir el grado de concentración de acidez o alcalinidad de cada material.

#### **Materiales**

- Medidor de PH



**Tabla 13**

Resultados de PH de los espumantes.

<b>DENSIDAD DE LOS ESPUMANTES</b>	
<b>ESPUMANTE</b>	<b>PH</b>
RV+COLOFONIA	5.7
KV LITE AFFF	5,8
SIKA PORO PLUS	6,1

**g) Tamaño de la burbuja.**

Se realiza el análisis del tamaño de las burbujas de cada una de las muestras de hormigón celular con los diferentes agentes espumantes RV+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS.

❖ **Equipos y materiales**

- Computadora.
- Microscopio Digital
- Cilindros de hormigón.
- Regla calibradora del equipo.

❖ **Procedimiento.**

- Se coloca los cilindros de hormigón de cada uno de los agentes espumantes en una superficie plana.
- Se coloca la regla calibradora del en el centro del cilindro para obtener las medidas reales en las fotografías de las burbujas.
- Una vez calibrado con las respectivas medidas se procede a tomar las diferentes fotografías de los cuatros lados del cilindro incluida la cara superior e inferior del mismo.
- Una vez tomada las respectivas fotografías se realiza el respectivo análisis del tamaño de la burbuja de cada muestra de cilindro con los diferentes espumantes.

## Resultados.

### Figura 11

Tamaño de las burbujas en el hormigón celular en estado endurecido.



### Tabla 14

Tamaño de las burbujas en el hormigón celular con los diferentes agentes espumantes.

DENSIDAD DE LOS ESPUMANTES	
ESPUMANTE	TAMAÑO (MM)
RV+COLOFONIA	0,61
KV LITE AFFF	0,71
SIKA PORO PLUS	0,72

#### h) Mesa de flujo Norma NTC 111

En este tipo de ensayo se realizó para poder evaluar la consistencia de la mezcla del concreto celular que se muestra mediante el incremento de los diámetros del molde, luego de varias secuencias específicas de movimiento (NTC 111, 2015).

#### ❖ Equipos para realizar el ensayo mesa de flujo.

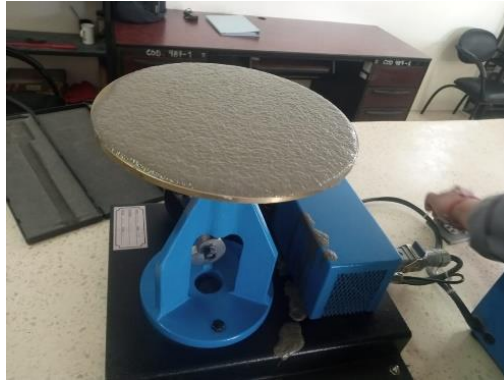
- Una mesa de flujo que cumpla con la Norma ASTM C230.
- Una espátula.



- Un molde de flujo con dimensiones de 69,8 mm de diámetro superior, 101,6 mm de diámetro inferior y 50,08 mm de altura.
- Un pistón pequeño.

### **Figura 12**

Mesa de flujo



#### **❖ Procedimiento.**

- Higienizar la mesa donde se pondrá la mezcla de hormigón.
- Instalar el molde sobre el centro de la mesa de flujo.
- Colocar una pequeña capa de 25 mm de espesor de la mezcla a ensayarse en el molde y compactarla 20 veces.
- Rellenar el molde de la mesa de flujo con la mezcla a ensayarse y compactarla de la misma manera que se hizo anteriormente en el paso
- Enrasar la mezcla utilizando una espátula.
- Secar y limpiar cualquier exceso de líquido que se encuentre en la superficie de la mesa.
- Realizar el proceso de vaciado sobre la mesa de flujo a una distancia requerida de 13 mm, seguidamente realizado este proceso se empieza a dar 25 golpes durante 15 segundos.
- Obtener el porcentaje de fluidez de la mezcla de hormigón celular deduciendo el promedio de los diferentes diámetros medidos en las líneas indicadas en el pie de rey.

❖ **Cálculos para obtener el porcentaje de fluidez de la mezcla de hormigón HC D400.**

En la ecuación se explica el cálculo para obtener el porcentaje de fluidez del hormigón.

$$\%F = \frac{DI-A}{A} \quad (5)$$

**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).

**i) Resistencia a la compresión**

Para poder determinar la resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes cilindros de hormigón celular se sigue las indicaciones establecidas en la norma (NTE INEN 1573, 2015), donde indica que estos ensayos se los realiza para obtener el comportamiento de un determinado material al que se ejerce una carga de compresión.

Para efectuar este determinado ensayo se fabricaron 12 especímenes cilíndricos de hormigón celular con cada uno de los agentes espumantes RV2020 + COLOFONIA y KV LITE AFFF cuyas medidas de estos moldes cilindros son de 20 cm de alto y con un diámetro de 10 cm.

Es de vital importancia realizar el ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de hormigón celular a los 7, 14, 21 y 28 días de curado, estos especímenes se los retiraba del lugar de curado se esperaba que secura

por un lapso de media hora para ser sometidos a una carga a la compresión con ayuda de una prensa hidráulica, estos ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en el laboratorio de la carrera de ingeniería civil de la universidad Estatal Península de Santa Elena.

Se realiza un registro de cada uno de los datos obtenidos del ensayo a la compresión de los 7, 14, 21 y 28 días para poder evaluar si los datos obtenidos cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en la Norma ASTM C39 tal como se muestra en la siguiente tabla No. 15.

Para efectuar un buen ensayo a la compresión es recomendable seguir las indicaciones del ASTM C31 donde especifica las recomendaciones a seguir para obtener un buen curado de las probetas de hormigón para que puedan tener un buen desempeño en el ensayo de resistencia a la compresión, los resultados de estos ensayos nos permiten determinar el comportamiento que va teniendo el hormigón celular hasta un plazo de 28 días donde alcanza su resistencia máxima.

**Tabla 15**

*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
12 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 1573, 2015)*

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.

#### **j) Conductividad térmica del hormigón celular**

El ensayo de conductividad térmica del hormigón celular es el que define el flujo de calor que soporta el hormigón a un determinado tiempo (Maribel Medina, 2023).

##### **❖ Equipos y materiales:**

- Calorímetro casero.
- Foco incandescente de 100 W.
- Tapa de hormigón celular de espesor de 3 cm.
- Termómetro
- Voltímetro

##### **❖ Procedimiento:**

- Se elabora un calorímetro con materiales de espumaflex y papel aluminio.
- Se realiza las instalaciones eléctricas para conectar el foco incandescente amarillo de 100 W.
- Se coloca la tapa de hormigón celular para poder conectar el foco de 100 W a la toma de 110 voltios.
- Se deja con la máxima intensidad de luz a una hora para poder determinar el coeficiente de calor al tiempo de 1 hora.
- Se anota los datos para poder obtener el coeficiente de calor del hormigón celular durante 1 hora de calor.

❖ **Ecuaciones:**

$$H = \frac{Q}{T} = 100 \text{ w} \quad (6)$$

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}{X} \quad (7)$$

**Donde:**

**Q**=flujo de calor.

**A**=área del material.

**T**=temperatura.

**K**=coeficiente de calor

**X**=espesor del material

$$K = \frac{Q \cdot X}{A \cdot (T_2 - T_1)}$$

$$K = \frac{100W \cdot 0,02}{0,0825 \cdot (75 - 38,9)} = 0,67 \frac{W}{m \cdot k}$$

**3.5 Metodología del O.E2.: Diseñar una mezcla de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> empleando los diferentes agentes espumantes (RV-2020+COLOFONIA) para la elaboración de las probetas y realizar los ensayos correspondientes en el laboratorio.**

Para realizar el diseño respectivo de la mezcla de hormigón celular se utilizó el método previsto por la norma (ACI 523.3R-14, 2014). Este proceso se enfoca en determinar el peso específico inicial del mortero en vez de la dosificación individual de sus componentes, característica que los hacen diferentes a los otros métodos.

Para la aplicación de este método se ejecutó un cálculo de la relación agua cemento, propiedades y contenidos de los agregados que influyen en la determinación de las características del mortero convencional (Huertas Nardy, 2021). Así mismo determinar la cantidad de espuma que se necesita para lograr un diseño de 1m<sup>3</sup> de hormigón celular, considerando las diversas masas unitarias.

### **3.5.1 Diseño de la mezcla de hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> con diferentes tipos de espumantes y agregado fino.**

Para fabricación de la mezcla de hormigón celular de baja densidad, se utilizó las pautas señaladas en el (ACI 523.3R-14, 2014) siguiendo las recomendaciones y pautas que se establecen en la norma (ASTM C138/C138M, 2014).

Para este estudio se necesita obtener la cantidad exacta del mortero convencional, así como se indica en la ecuación 4 y por consiguiente la cantidad de espuma necesaria para el diseño, así como se muestra en la ecuación 11, para lograr un diseño de 1m<sup>3</sup> de concreto celular con sus respectivas masas unitarias.

#### **a) Procedimiento:**

- Se calcula la fuerza a la compresión de acuerdo a la densidad deseada por medio de la siguiente ecuación:

$$f'c = 0,34 * e^{0,0022*\gamma f} \quad (8)$$

Donde:

$\gamma f$  = Peso unitario en estado endurecido del hormigón celular.

$f'c$  = resistencia a la compresión

Reemplazando obtenemos:

$$f'c = 0,34 * e^{0,0022*420}$$

$$f'c = 0,86 \text{ Mpa.}$$

- Se asume una relación a/c de 0,5 según rango de (0,45 a 0,60) de acuerdo a la guía (ACI 523.3R-14, 2014)
- Peso unitario del hormigón secada al horno usando la siguiente ecuación.

$$\gamma_s = \gamma_f - 122 \quad (9)$$

$$\gamma_s = 420 - 122 = 298 \text{ kg/m}^3$$

- Calculamos la relación cemento arena.

$$\frac{ar}{c} = \frac{673 - 400}{345} = 0,79 \text{ kg/m}^3$$

- Se calcula el contenido de cemento de la mezcla usando la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\gamma_f}{1 + \frac{a}{c} + \frac{ar}{c}} \quad (10)$$

$$c = \frac{420}{1 + 0,50 + 0,79}$$

$$c = 183,41 \text{ kg/m}^3$$

- Cantidad de agua a utilizar mediante la ecuación:

$$\frac{a}{c} = 0,5 \quad (11)$$

Reemplazamos y obtenemos:

$$a = 0,50 * 183,41 = 91,70 \text{ kg/m}^3$$

- Cantidad de arena a utilizar mediante la ecuación:

$$\frac{ar}{c} = 0,79 \quad (12)$$

Reemplazamos y obtenemos:

$$ar = 0,79 * 183,41 = 144,89 \text{ kg/m}^3$$

- Se calcula el volumen absoluto de los sólidos en la mezcla (cemento, agua y espumante) con la siguiente ecuación.

$$V_A = \frac{c}{G_c * \gamma_w} + \frac{a}{\gamma_w} + \frac{ar}{G_a * \gamma_w} \quad (13)$$

$$V_A = \frac{183,41}{3,15 * 1000} + \frac{91,70}{1000} + \frac{144,89}{2,65 * 1000} = 0,205 \text{ m}^3$$

**Donde:**

**c**=cemento

**a**=agua

**ar**=arena

**G<sub>c</sub>**=gravedad específica del cemento

**G<sub>a</sub>**=gravedad específica de la arena

**γ<sub>w</sub>**= peso del agua

- Se calcula el volumen del aire requerido por unidad de volumen del hormigón.

$$A_v = 1 - V_a \quad (14)$$

$$A_v = 1 - 0,205 = 0,795 \text{ m}^3$$

- Se calcula el volumen de la espuma para la mezcla

$$V_f = \frac{A_v}{\text{rendimiento}} \quad (15)$$



Reemplazamos y obtenemos:

$$V_f = \frac{0,795}{0,80} = 0,99 \text{ m}^3$$

- Se calcula el peso de la espuma

$$F = V_f * \gamma_e \quad (16)$$

$$F = 0,99 * 51$$

$$F = 50,68 \text{ kg/m}^3$$

**Donde:**

**V<sub>f</sub>**=Volumen de la espuma

**Y<sub>e</sub>**=densidad de la espuma

**F**=peso de la espuma

- Se calcula la cantidad de agua de diseño de la mezcla debido al agua en la espuma.

$$A_e = \gamma_e * V_f \quad (17)$$

$$A_e = 51 * 0,99$$

$$A_e = 50,68 \text{ kg/m}^3$$

**Donde:**

**A<sub>e</sub>**=agua en la mezcla

**Y<sub>e</sub>**=densidad de la espuma

**V<sub>f</sub>**=volumen de la espuma

- Se calcula la corrección del agua de diseño de la mezcla

$$A_m = A - Ae$$

Reemplazamos los datos:

$$A_m = 91,70 - 50,68$$

$$A_m = 41,02 \text{ kg/m}^3$$

**Proporciones de la mezcla para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular se presentan en la tabla No. 16:**

**Tabla 16**

*Diseño para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular con espumante RV2020+COLOFONIA*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Cemento	183,41	Kg/m <sup>3</sup>
Agua	41,02	Kg/m <sup>3</sup>
Arena	144,89	Kg/m <sup>3</sup>
Espuma	50,68	Kg/m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>420,00</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>

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

Para la fabricación de la mezcla de hormigón celular de baja densidad, se utilizaron las pautas señaladas en el (ACI 523.3R-14, 2014) siguiendo las recomendaciones y pautas que se establecen en la norma (ASTM C138/C138M, 2014).

Para este estudio se necesita obtener la cantidad exacta del mortero convencional, así como se indica en la ecuación 4 y por consiguiente la cantidad de espuma

necesaria para el diseño, así como se muestra en la ecuación 11, para lograr un diseño de 1m<sup>3</sup> de concreto celular con sus respectivas masas unitarias.

❖ **Procedimiento:**

- Se calcula la fuerza a la compresión de acuerdo a la densidad deseada por medio de la siguiente ecuación:

$$f'c = 0,34 * e^{0,0022*\gamma f} \quad (18)$$

Donde:

$\gamma f$  = Peso unitario en estado endurecido del hormigón celular.

Reemplazando obtenemos:

$$f'c = 0,34 * e^{0,0022*420}$$

$$f'c = 0,86 \text{ Mpa.}$$

- Se asume una relación a/c de 0,5 según rango de (0,45 a 0,60) de acuerdo a la guía (ACI 523.3R-14, 2014)
- Peso unitario del hormigón secado al horno usando la siguiente ecuación.

$$\gamma_s = \gamma_f - 122 \quad (19)$$

$$\gamma_s = 420 - 122 = 298 \text{ kg/m}^3$$

- Se calcula el contenido de cemento de la mezcla usando la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\gamma_f}{1 + \frac{a}{c}} \quad (21)$$

$$c = \frac{420}{1 + 0,50}$$

$$c = 280 \text{ kg/m}^3$$

- Cantidad de agua a utilizar mediante la ecuación:

$$\frac{a}{c} = 0,5 \quad (21)$$

Reemplazamos y obtenemos:

$$a = 0,50 * 280 = 140 \text{ kg/m}^3$$

- Se calcula el volumen absoluto de los sólidos en la mezcla (cemento, agua y espumante) con la siguiente ecuación.

$$V_A = \frac{c}{G_c * \gamma_w} + \frac{a}{\gamma_w} \quad (22)$$

$$V_A = \frac{280}{3,15 * 1000} + \frac{140}{1000} = 0,228 \text{ m}^3$$

**Donde:**

**c**=cemento

**a**=agua

**ar**=arena

**Gc**=gravedad especifica del cemento

**Ga**=gravedad especifica de la arena

**$\gamma_w$** = peso del agua

- Se calcula el volumen del aire requerido por unidad de volumen del hormigón.

$$A_v = 1 - V_a \quad (23)$$

$$A_v = 1 - 0,228 = 0,772 \text{ m}^3$$

- Se calcula el volumen de la espuma para la mezcla

$$V_f = \frac{A_v}{\text{rendimiento}} \quad (24)$$

Reemplazamos y obtenemos:

$$V_f = \frac{0,772}{0,80} = 0,97 \text{ m}^3$$

- Se calcula el peso de la espuma

$$F = V_f * \gamma_e \quad (25)$$

$$F = 0,97 * 51$$

$$F = 49,22 \text{ kg/m}^3$$

**Donde:**

**V<sub>f</sub>**=Volumen de la espuma

**Y<sub>e</sub>**=densidad de la espuma

**F**=peso de la espuma

- Se calcula la cantidad de agua de diseño de la mezcla debido al agua en la espuma.

$$A_e = \gamma_e * V_f \quad (26)$$

$$A_e = 51 * 0,97$$

$$A_e = 49,23 \text{ kg/m}^3$$

**Donde:**

**Ae**=agua en la mezcla

**Ye**=densidad de la espuma

**Vf**=volumen de la espuma

- Se calcula la corrección del agua de diseño de la mezcla

$$A_m = A - A_e$$

Reemplazamos los datos:

$$A_m = 140 - 49,22$$

$$A_m = 90,79 \text{ kg/m}^3$$

**Proporciones de la mezcla para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular se presentan en la tabla No. 17:**

**Tabla 17**

Diseño para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular con espumante RV2020+COLOFONIA

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Cemento	280	Kg/m <sup>3</sup>
Agua	90,79	Kg/m <sup>3</sup>
Espuma	49,23	Kg/m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>420,00</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>

**a) Proceso de elaboración del hormigón celular.**

Para ajustar el hormigón celular a las necesidades de la investigación, se decidió establecer la densidad aparente característica basándose en su resistencia.

- Se elige el tipo de cemento adecuado, en este caso el Chimborazo He Industrial, en función de los requisitos de la obra.
- Se determina la relación mínima necesaria entre agua y cemento para lograr una cohesión suficiente entre los agregados y el cemento.
- 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.
- Se preparan los moldes aplicando grasa para evitar que la mezcla se adhiera a ellos.
- 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.
- Se realiza el ensayo de fluidez de la mezcla.
- Se lleva a cabo la elaboración del hormigón celular.
  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.

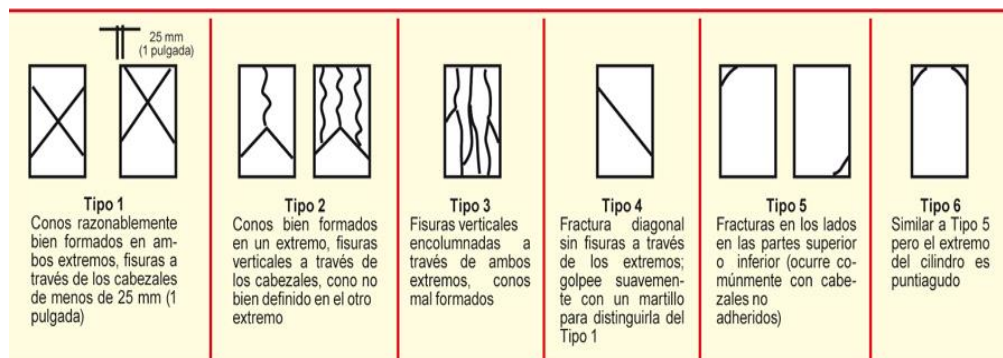
En caso de utilizar espumantes especializados para hormigón celular, seguimos las instrucciones proporcionadas por los fabricantes

### 3.5.3 Tipos de fracturas de las probetas de hormigón.

En la Figura 14, 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 13**

*Tipos de rotura.*



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

### Equipos.

- Prensa hidráulica.



- Neoprenos.
- Balanza.
- Vernier con una presión de 0,1 mm.

### **Procedimiento.**

- Registrar el peso y las dimensiones del cilindro que está expuesto a la fuerza de compresión.
- Anotar las dimensiones y peso del espécimen.
- Colocar los tapones de neopreno en la parte inferior y superior del espécimen.
- Ubicar el espécimen en la máquina para realizar el respectivo ensayo.

### **Cálculos.**

Realizar la corrección de la resistencia a la compresión con la siguiente ecuación.

$$C = \frac{P}{A} \quad (27)$$

**C**= Resistencia a la compresión.

**P**= Carga máxima.

**A**= Promedio del área del cilindro ensayado.

### **Resultados**

Las diferentes fallas obtenidas en cada uno de los cilindros con cada uno de los agentes espumantes se muestran en la figura 14.

## Figura 14

*Tipos de fallas en los cilindros*



**3.6 METODOLOGÍA DEL O.E3.: Obtener un análisis económico y técnico del comparativo de los diferentes resultados obtenidos del comportamiento físico-mecánico de las probetas de ensayos mediante la elaboración de cuadros estadísticos que permitan visualizar cual fue la mezcla con mejores propiedades como lo establece la norma (ACI 523.1R-06, 2006)**

En el campo constructivo es de vital importancia realizar un análisis de costos de precios unitarios para poder determinar el costo que va tener el m<sup>3</sup> de hormigón celular considerando los diferentes materiales a utilizarse, así mismo evaluar cada uno de los rendimientos de los equipos y personal directo e indirecto dentro del proceso de la fabricación del hormigón celular.

Para este estudio se utilizó el APU (análisis de precios unitarios) que nos permite obtener un presupuesto referencial por m<sup>3</sup> del hormigón celular con la inclusión de cada uno de los agentes espumantes de RV 2020 + COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS.

### 3.7 OPERACIÓN DE VARIABLES

En esta tabla se presenta un cuadro detallado que muestra cada una de las operaciones realizadas con las variables utilizadas en el proceso de estudio. Esta información que se detalla será de vital importancia porque nos ayuda a comprender y poder analizar cada uno de los diferentes cálculos efectuados en relación a las variables detalladas para esta investigación.

**Tabla 18**

*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 los agregado grueso y finos por aire	Concreto en estado fresco	Mesa de Flujo	%
			Concreto en estado endurecido	Resistencia a la compresión	Mpa.
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	kg/m3
				Estabilidad	Min
				Tamaño de la burbuja	mm
				PH	Unidad
				Rendimiento	%

## CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se exponen los datos obtenidos de un diseño experimental que abarca la elaboración de especímenes de concreto cuya densidad es de 400 kg/m<sup>3</sup> a los 28 días de la incorporación de aire en los hormigones. El objetivo principal es fabricar un hormigón celular que cumpla con la densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> mediante ensayos experimentales con tres tipos de agentes espumante, para realizar un estudio comparativo de los diferentes resultados de hormigón celular.

### 4.1. Análisis de las diferentes características de los materiales utilizados para la elaboración del hormigón celular.

#### 4.1.1. Granulometría del agregado fino.

Basadas en las normativas (ASTM C33/C33M, 2018), (ASTM C330/C330M, 2019), en las que se establecen las especificaciones técnicas del agregado fino, en este estudio se han obtenido los siguientes resultados granulométricos los mismo que se detallan en la tabla 19.

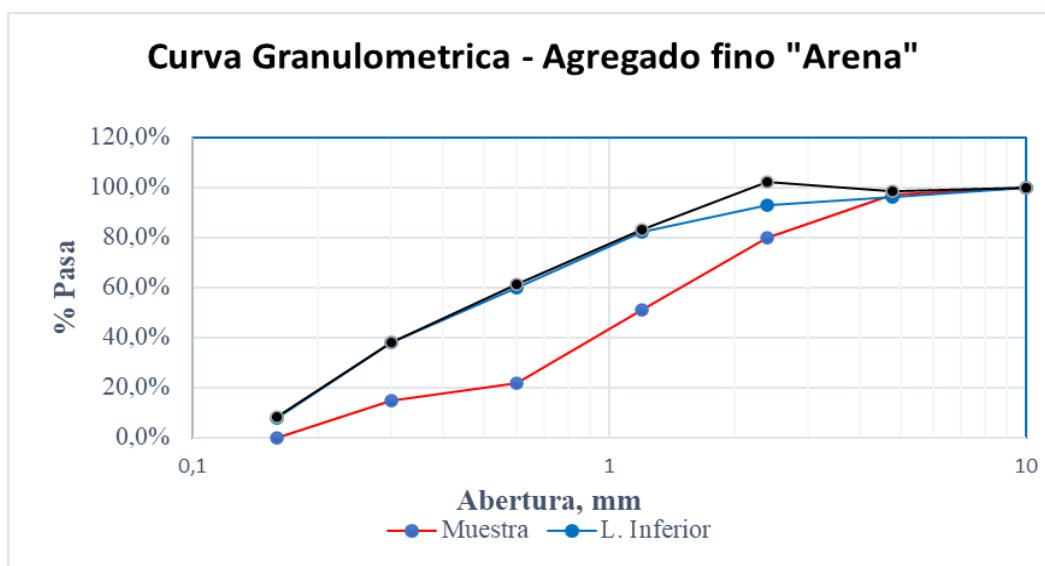
**Tabla 19**

Agregado fino medio de acuerdo al módulo de finura del método ACI 523.1R

TAMIZ No.	MM	RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	% PASA	A.S.T.M	
3/8	9,53	0	0,00	0,00	100	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		0,2115	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 15**

Curva granulométrica del agregado fino.



Basados en las normativas (ASTM C33/C33M, 2018), (ASTM C330/C330M, 2019), en las que se establecen las especificaciones técnicas del agregado fino se puede observar que el agregado fino se lo caracteriza como arena media, la misma que cumple con las especificaciones granulométricas para un diseños mayores a 400 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto, no puede ser utilizado en nuestra mezcla de hormigón, ya que tras varias pruebas experimentales y realizando los diferentes ajustes en las cantidades de dosificación no se llegaba a la densidad requerida.

#### 4.1.2. Módulo de finura

**Tabla 20**

Caracterización del agregado fino determinado para fabricación del hormigón celular

ITEMS	MÓDULO DE FINURA
Arena	2,33

El módulo de finura de 2,33 clasifica al agregado fino como arena media.

#### 4.1.3. Contenido de humedad

**Tabla 21**

Resultado del contenido de humedad de la arena

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
<b>Material</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Arena	4,34	%

El contenido de humedad en la arena es del 4,34% porcentaje que es considerado para el diseño de la mezcla del hormigón celular, pero sin embargo las otras características del agregado no cumplen para el diseño de 400 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.4. Análisis de mesa de flujo.

**Tabla 22**

*Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Mesa de flujo*

<b>HC D400</b>		
<b>Espuma</b>	<b>Agregado</b>	<b>% fluidez</b>
RV 2020+COLOFONIA		129,33 %
KV LITE AFFF	arena	127,32 %
SIKA PORO PLUS		131,32 %

**Tabla 23**

*Porcentaje de fluidez obtenido del ensayo Mesa de flujo*

<b>HC D400</b>		
<b>Espuma</b>	<b>Agregado</b>	<b>% fluidez</b>
RV2020+COLOFONIA		135,33 %
KV LITE AFFF	cemento	139,32 %
SIKA PORO PLUS		141,32 %

Los resultados obtenidos en este ensayo de la mesa de flujo nos muestran que cada una de las mezclas tanto con agregado fino y sin agregado fino presentan una fluidez que supera el 100%, obteniéndose así una mezcla muy fluida que se esparce rápidamente por toda la superficie de la mesa de flujo.

#### 4.1.5. Análisis de resultado de la espuma.

##### Estabilidad de la espuma

Tabla 24

Resultados de la estabilidad de los espumantes.

ESTABILIDAD DE ESPUMA			
ESPUMA	TIEMPO DE DURACIÓN (horas)		
	INICIO	FIN	DURACIÓN
RV 2020	10:30	18:50	8:20
RV+COLOFONIA	10:30	20:30	10:00
KV LITE AFFF	10:30	19:00	9:10
SIKA PORO PLUS	10:30	18:30	8:00

Figura 16

Resultados de la estabilidad de los espumantes.



Las diferentes pruebas de estabilidad que se realizaron a cada uno de los espumantes RV 2020+COLOFONIA, RV 2020, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS transcurrida algunas horas, se puede observar que la espuma que más demoró en desvanecerse es la espuma de RV+COLOFONIA teniendo una duración de 10 horas. Cabe señalar que cumplida las 24 horas las burbujas desaparecen en su totalidad dejando forma líquida cada espumante.

#### 4.1.6. Densidad de la espuma.

**Tabla 25**

Resultados de la densidad de los espumantes.

<b>DENSIDAD DE LOS ESPUMANTES</b>		
<b>ESPUMANTE</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
RV+COLOFONIA	51,76	KG/M3
KV LITE AFFF	52,33	KG/M3
SIKA PORO PLUS	51,18	KG/M3

**Figura 17**

Densidad de los espumantes.



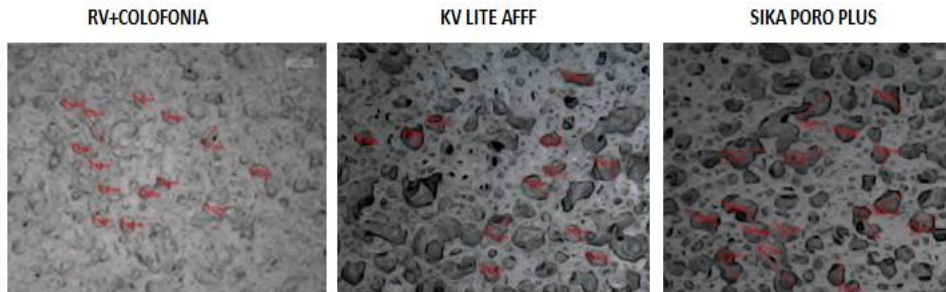
Las diferentes pruebas de densidad que se realizaron a cada uno de los espumantes, después de realizar los respectivos cálculos, la espuma de RV 2020+COLOFONIA presentó una densidad de 51,76 kg/m<sup>3</sup>, la espuma de KV LITE AFFF presentó una densidad de 53,33 kg/m<sup>3</sup> y la espuma de SIKA PORO PLUS arrojó una densidad de 51,18 kg/m<sup>3</sup>, sin embargo cabe señalar que estas densidades pueden variar dependiendo de la graduación de la máquina generadora de espuma y la cantidad de aire que se ingrese en ella; en todas las pruebas experimentales se notó que los parámetros mencionados anteriormente juegan un papel muy importante al momento de obtener la densidad de cada uno de los espumantes, no siempre se va obtener la misma densidad pero si debe de cumplir con los parámetros establecidos de 50 y 60 kg/m<sup>3</sup> para un diseño de hormigón celular de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.



#### 4.1.7. Tamaño de la burbuja.

**Figura 18**

Tamaño de las burbujas

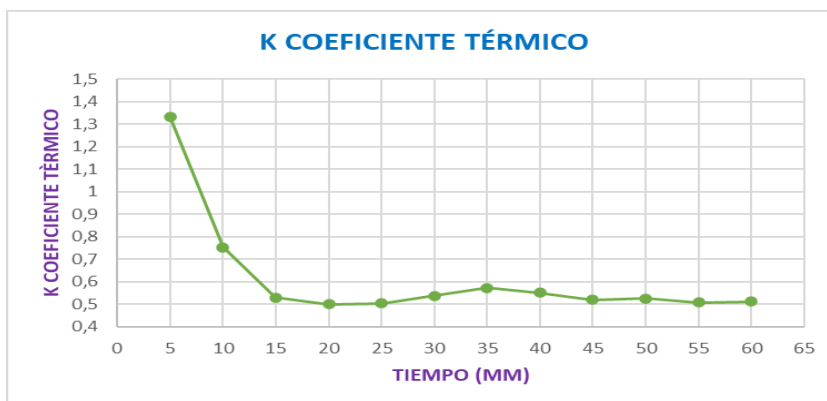


Se visualizó el tamaño de las burbujas de los diferentes especímenes obtenidos con los espumante de RV+COLOFONIA, KV LITE AFF y SIKA PORO PLUS, con la ayuda del microscopio digital se observa cada uno de los cilindros y se determinó que el que tenía las burbujas más pequeñas es el de la mezcla realizada con RV+COLOFONIA por ende presenta una mejor resistencia a la compresión, debido a que sus burbujas están lo más juntas posibles, sin embargo cabe resaltar que para poder obtener el tamaño de las burbujas de SIKA PORO PLUS se seleccionó uno de los cilindros que tenían menos asentamientos ya que estos cilindros no fueron sometidos a pruebas de compresión.

#### 4.1.8. Coeficiente térmico del hormigón

**Figura 19**

Diagrama del coeficiente térmico vs tiempo



El hormigón celular es un aislante térmico por ende se realizó un ensayo experimental con la ayuda de un colorímetro casero se determinó la temperaturas internas y externas de la pared de hormigón celular durante el lapso de 1 hora tiempo que alcanzo temperaturas internas de 75°C y externas 38,9°C con un flujo de calor de 100 W generada por un foco incandescente; se realizaron los respectivos cálculos con la ecuación de Fourier para poder determinar el coeficiente térmico del hormigón celular.

#### 4.1.9. Resistencia a la compresión.

**Tabla 26**

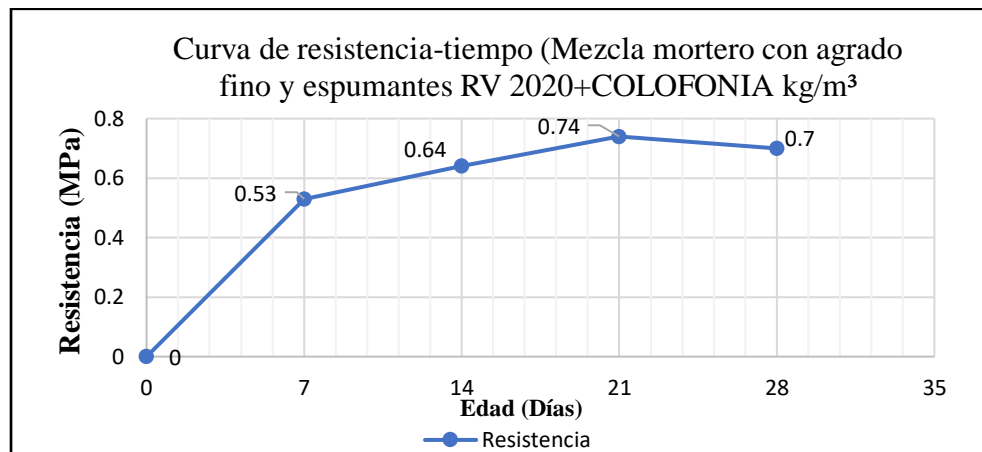
*Diseño para hormigón celular D400*

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

#### a) Dosificación con el espumante RV+COLOFONIA.

**Figura 20**

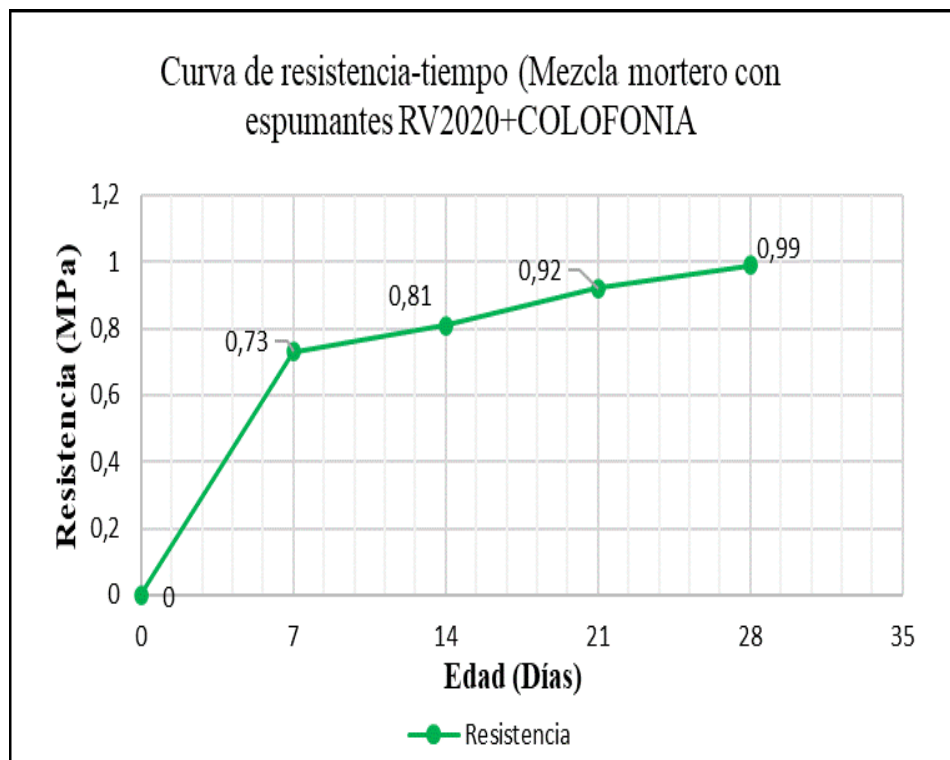
*Curva de resistencia a la compresión con agregado fino y espumantes  
RV2020+COLOFONIA*



Los ensayos realizados a la compresión con el agregado fino con el espumante RV 2020+COLOFONIA, alcanzaron los 28 días una resistencia a la compresión de 0,77 Mpa resultado que no cumple con los parámetros establecidos, tal como se puede observar en la tabla 26.

**Figura 21**

*Curva de resistencia a la compresión RV2020+COLOFONIA sin agregado fino.*

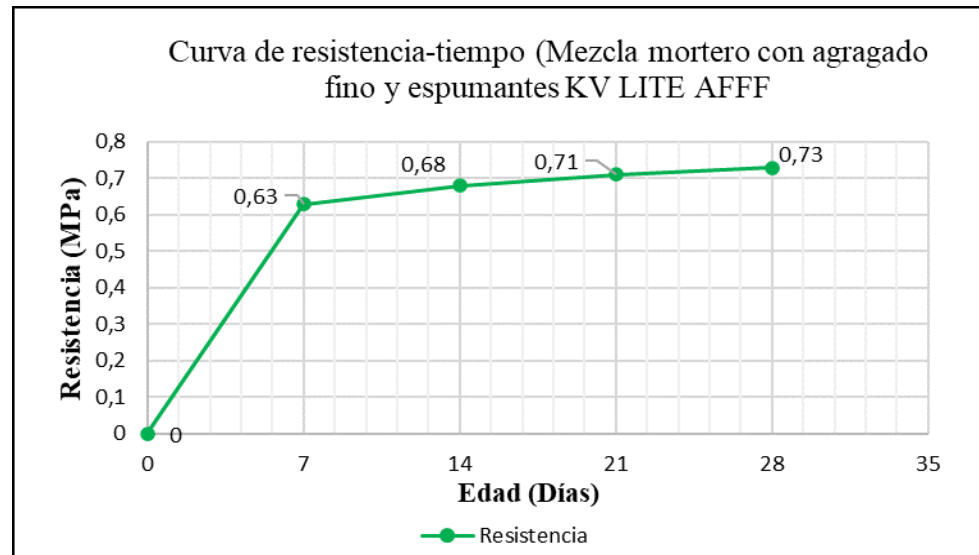


Los ensayos realizados a la compresión sin el agregado fino y con el espumante RV+COLOFONIA, alcanzando los 28 días una resistencia a la compresión de 0,99 Mpa resultado que cumple con los parámetros establecidos, tal como se puede observar en la tabla 26.

b) **Dosificación con el espumante KV LITE AFFF.**

**Figura 22**

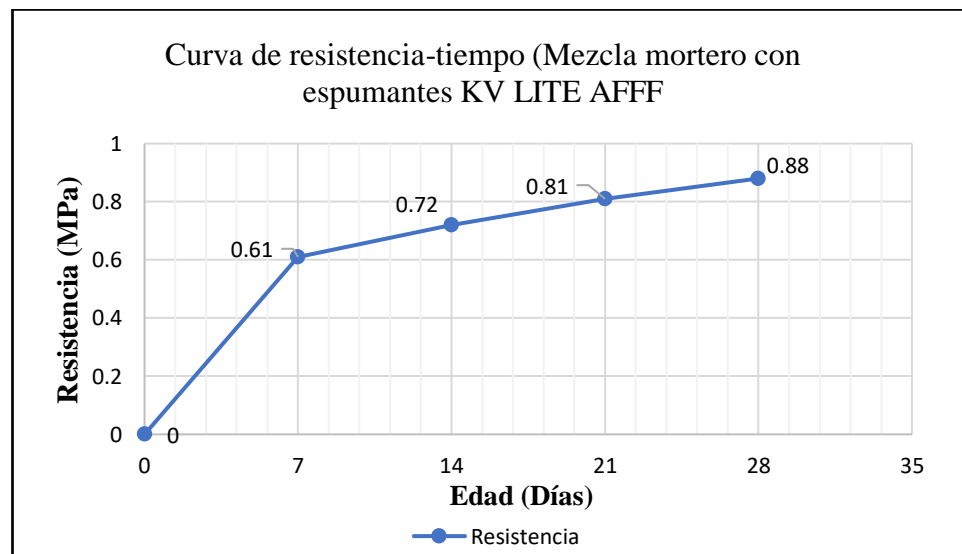
*Curva de resistencia a la compresión KV LITE AFFF con agregado fino*



Los ensayos realizados a la compresión con el agregado fino con el espumante KV LITE AFFF, alcanzando los 28 días una resistencia a la compresión de 0,73 Mpa. resultado que no cumple con los parámetros establecidos, tal como se puede observar en la tabla 26.

**Figura 23**

*Curva de resistencia a la compresión KV LITE AFFF sin agregado fino*

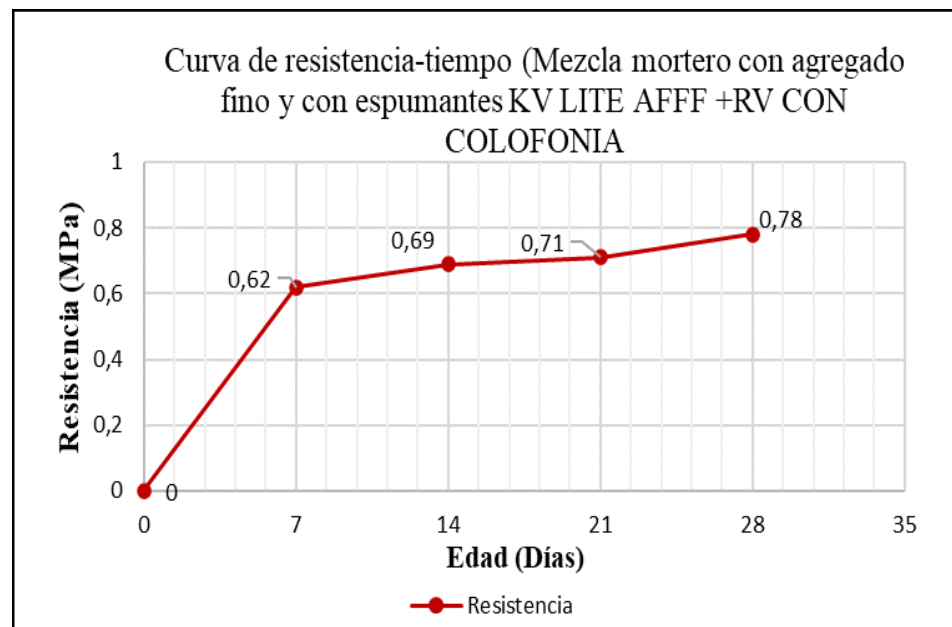


Los ensayos realizados a la compresión con el agregado fino con el espumante KV LITE AFFF, alcanzaron a los 28 días una resistencia a la compresión de 0,88 Mpa. resultado que cumple con los parámetros establecidos tal como se puede observar en la tabla 26.

**c) Dosificación con el espumante KV LITE AFFF y RV+COLOFONIA.**

**Figura 24**

*Curva de resistencia a la compresión KV LITE AFFF y RV2020+COLOFONIA*



Los ensayos realizados a la compresión con el agregado fino con el espumante KV LITE AFFF con RV+COLOFONIA, alcanzaron a los 28 días una resistencia a la compresión de 0,78 Mpa. resultado que no cumple con los parámetros establecidos tal como se puede observar en la tabla 26.

#### **4.2. Análisis del diseño de la mezcla espumantes RV+COLOFONIA, KV LITE AFFF y SIKA PORO PLUS.**

En las normativas del Instituto Ecuatoriano de Normalización se establece que para la elaboración de bloques se requiere una resistencia a la compresión mínima de 0.86 MPa. (Miguel Santos Amaya, 2019). Se toma este dato como referencia ya que no existe aún una normativa vigente de hormigones celulares de baja densidad, por lo tanto, bajo este criterio el hormigón celular fabricado con el espumante RV 2020 + COLOFONIA supera con las expectativas de lo que se establece en la norma.

Con el diseño de la mezcla de hormigón celular con el agregado fino no se obtuvo buenos resultados ya que se dejaba una densidad del hormigón en estado fresco de 420 kg/m<sup>3</sup> y cuando ya se desencofraba en estado endurecido pesaba 423 kg/m<sup>3</sup> pero sin embargo no cumplía con la resistencia requerida establecida, ni con la densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>.

Ante ello, tras realizar varias pruebas experimentales con los diferentes ajustes del peso de los materiales no se obtuvieron buenos resultados tanto en densidad como en resistencia, por eso se diseñó sin el agregado fino para tratar de obtener una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> que cumpla con la resistencia establecida.

Con el diseño de la mezcla de hormigón celular sin el agregado fino y con el espumante RV 2020+COLOFONIA se obtuvieron resultados con una densidad del hormigón en estado fresco de 420 kg/m<sup>3</sup> y cuando ya se desencofraba en estado endurecido pesaba 400 kg/m<sup>3</sup> y alcanzó su máxima resistencia a los 28 días de 0,99 Mpa. Cabe recalcar que con el paso de los días los especímenes de hormigón iban perdiendo su peso inicial en estado endurecido.

Con el diseño de la mezcla de hormigón celular sin el agregado fino y con el espumante KV LITE AFFF se obtuvieron resultados con una densidad del hormigón en estado fresco de 420 kg/m<sup>3</sup> y cuando ya se desencofraba en estado endurecido pesaba 400 kg/m<sup>3</sup> y alcanzo su máxima resistencia a los 28 dias de 0,88

Mpa. Cabe recalcar que con el paso de los días los especímenes de hormigón iban perdiendo su peso inicial en estado endurecido.

También el espumante tres el SIKA PORO PLUS fue sometido a diferentes pruebas preliminares tanto con agregado fino y con la combinación agua/cemento, sin embargo con o sin agregado fino no se obtuvieron buenos resultados, es decir no se pudo realizar en ensayo a la compresión ya que a los 25 minutos de su colocación en los respectivos moldes se evidencio un asentamiento considerable, por ende, se buscó referencia en otros estudios realizados con este tipo de espumantes y se logró evidenciar que este espumante solo genera buenos resultados con densidades mayores o iguales a 1500 kg/m<sup>3</sup>.

### **Figura 25**

*Muestra de probetas fallidas con Sika poro plus.*



*Nota: Tomado por autoría del autor*

### **4.3. Análisis económico y técnico del comparativo de las diferentes mezclas de hormigón celular con los espumantes RV 2020+COLOFONIA, KV LITE AFF y SIKA PORO PLUS.**

Se realizó el presupuesto referencial por m<sup>3</sup> de la mezcla del hormigón celular con cada uno de los espumantes RV+COLOFONIA, KV LITE AFF y SIKA PORO PLUS, valores que se detallan a continuación en la tabla 27.

**Tabla 27**

*Presupuesto referencial del diseño de la mezcla de hormigón con los diferentes agentes espumantes*

<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL</b>					
<b>RUBRO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UN</b>	<b>CANT.</b>	<b>PRECIO UNITARIO USD</b>	<b>PRECIO TOTAL USD</b>
<b>DISEÑO DE HORMIGÓN CELULAR CON AGREGADO FINO</b>					
1	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (RV+COLOFONIA)	M3	1,00	109,53	109,53
2	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (KV LITE AFF)	M3	1,00	105,68	105,68
3	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (SIKA PORO PLUS)	M3	1,00	101,41	101,41
<b>DISEÑO DE HORMIGÓN CELULAR SIN AGREGADO FINO</b>					
4	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (RV+COLOFONIA)	M3	1,00	70,61	70,61
5	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (KV LITE AFF)	M3	1,00	67,61	67,61
6	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (SIKA PORO PLUS)	M2	1,00	65,07	65,07

El presupuesto mostrado anteriormente indica que el espumante RV 2020 + COLOFONIA con agregado fino tiene un costo de \$109, el espumante KV LITE AFFF con agregado fino tiene un costo de \$105,68 y con el espumante SIKA PORO PLUS tiene un costo de \$101,41, con este estudio comparativo no presenta gran variación de costo por m<sup>3</sup> ya que se utilizó la misma dosificación para cada uno de los espumantes.

Además, se realizó el Análisis de Precio Unitario (APU) por m<sup>3</sup> del diseño de mezcla con cada uno de los agentes espumantes, pero sin la utilización del agregado fino con los que se obtuvo los siguientes costos; RV 2020 + COLOFONIA de \$70,61, el espumante KV LITE AFFF de \$ 67,61 y SIKA PORO PLUS de \$66,07 que se visualiza en el anexo No. 9. Con este estudio comparativo no presenta gran variación de precios por m<sup>3</sup> ya que se utilizó la misma dosificación para cada uno de los espumantes.



# CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 4.1. CONCLUSIONES

- De los materiales del hormigón celular se tienen las especificaciones técnicas del cemento tipo HE que cumple la norma INEN 2380 caracterizado por su alta resistencia a la compresión inicial tal como se indica en su especificación técnica y que se adjunta en el anexo No. 12. El agregado fino cumple con las especificaciones técnicas del agregado, pero no se obtuvo la densidad 400 kg/m<sup>3</sup> para hormigón celular. La espuma que mantuvo una estabilidad mayor a 10 horas fue RV 2020 + COLOFONIA con una densidad 52 kg/m<sup>3</sup>. La espuma de KV LITE AFFF mantuvo una estabilidad de 9 horas con una densidad de 51 kg/m<sup>3</sup> y la espuma de SIKA PORO PLUS mantuvo una estabilidad durante 8 horas con una densidad de 51 kg/m<sup>3</sup>.
- Se obtuvieron tres mezclas de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> con cemento hidráulico HE Chimborazo y los espumantes RV 2020 + COLOFONIA, KV LITE y SIKA PORO PLUS. La dosificación Cemento HE Chimborazo 280 Kg/m<sup>3</sup> (0,60m<sup>3</sup>), agua 90,79 kg/m<sup>3</sup> (0,12 m<sup>3</sup>), espuma 49,23 kg/m<sup>3</sup> (0,6 m<sup>3</sup>), con la mayor resistencia a la compresión fue con el espumante RV 2020 + COLOFONIA y alcanzó una resistencia a los 28 días de 0,99 MPa., mientras que el espumante KV LITE AFFF alcanzó una resistencia de 0,88 MPa. y con el espumante SIKA PORO PLUS no se realizaron pruebas a compresión debido a que después de 15 minutos de ser colocadas en los moldes cilíndricos presentaban asentamientos de 5 centímetros y pasada las 24 horas tenían asentamientos de 13 cm. Así mismo se evalúa la resistencia mínima como se requiere en la norma (ACI 523.1R-06, 2006) donde establece que su resistencia mínima es de 0,86 MPa. La dosificación con los espumantes RV+COLOFONIA y KV LITE AFFF cumplen con lo establecido en las

especificaciones del ACI, no así la de SIKA PORO que no es recomendable para esta densidad.

- Con respecto al análisis comparativo del precio por metro cubico del hormigón celular con densidad  $400 \text{ kg/m}^3$  y los diferentes espumantes, el hormigón celular con relativo mayor costo es con el espumante RV 2020 + COLOFONIA se tiene un precio de \$ 70,61, con KV LITE AFFF \$ 67,61 y con menor precio el de SIKA PORO PLUS \$65,07.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- En base a los resultados de diseño de hormigón celular en este estudio con una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$ , empleando tres tipos de agentes espumantes se recomienda no utilizar agregado fino, ya que el agregado fino hace aumentar la densidad del hormigón celular en estado endurecido. Con respecto a los espumantes para obtener una buena densidad se deben tener bien calibrados los equipos para que no afecten los resultados finales.
- Para el diseño de la mezcla de hormigón con la incorporación de los agentes espumantes RV 2020+COLOFONIA y el espumante KV LITE AFFF puro se recomienda sean utilizados sin ninguna mezcla con otro tipo de espumante para que se generen buenos resultados que estén dentro de la normativa (ACI 523.1R-06, 2006) donde se exige una resistencia mínima de  $0,86 \text{ MPa}$ , y en los datos obtenidos se puede verificar que ambos espumantes cumplen con este parámetro y así mismo con la densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$ ; con el espumante de SIKA PORO PLUS no se recomienda trabajar para la obtención de hormigones de baja densidades ya que no presenta buenos resultados.
- Se recomienda efectuar más ensayos experimentales adicionales en estudios posteriores para seguir evaluando el comportamiento mecánico de las mezclas del hormigón celular con los diferentes agentes espumantes de RV2020+COLOFONIA y KV LITE AFFF. Los ensayos posteriores a realizarse de igual forma, deben cumplir con la normativa vigente del (ACI 523.1R-06, 2006), parámetros que permitirán garantizar los resultados obtenidos de forma óptima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceros Arequipa. (2020). *Agua para la construcción - Usos del agua | Aceros Arequipa*. <https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-del-maestro-constructor/el-agua>

(ACI), A. C. (2002). Obtenido de [https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=523296&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US\\_AND\\_METRIC](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=523296&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC)

Alejandro Véliz, Gerardo Herrera, Richard Ramírez, Miguel Salvatierra. (Junio de 2023). El hormigón celular: Análisis y difusión a nivel industrial en Ecuador. Santa Elena, Santa Elena, Ecuador . Obtenido de <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/676#:~:text=El%20hormig%C3%B3n%20celular%20ha%20sido,el%20%C3%A1rea%20de%20la%20construcci%C3%B3n>.

Andrea Parra. (2023). *¿Qué es una población de estudio?* <https://www.questionpro.com/blog/es/poblacion-de-estudio/>

Andújar y Navarro. (2016). *Áridos para la construcción: Qué son y para qué se usan - Hermanos Andujar y Navarro*. <https://andujarynavarro.com/novedades/aridos-la-construccion-se-usan/>

Arbito Contreras, G. V. (2016). CONCRETO CELULAR PARA USO ESTRUCTURAL. En *Universidad de Cuenca*.

Arbito Contreras, G. V. (11 de Noviembre de 2016). *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*. Obtenido de Acceso a Tesis Pregrado, Posgrado y Doctoral: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25669>

ARMOSFERA. (2019, agosto 27). *materiales1*. <https://www.armosfera.com/materiales.htm>

- Arroyo, I. R. (2023). SACYT. Obtenido de <https://www.sacyr.com/-/hormigon-para-reducir-la-huella-de-carbono>
- Bautista. (2023). *Definición, Historia Y Fábricas Reconocidas DEL Cemento - DEFINICIÓN DEL CEMENTO El cemento es un - Studocu.* <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-san-juan-bautista/tecnologia-de-materiales/definicion-historia-y-fabricas-reconocidas-del-cemento/51208873>
- BECOSAN CONCRETE. (2021). *Hormigón celular: Qué es, Cuáles son sus ventajas | BECOSAN.* <https://www.becosan.com/es/hormigon-celular/>
- BECOSAN. (4 de JUNIO de 2021). *CONCRETE FLOORS.* Obtenido de <https://www.becosan.com/es/hormigon-celular/>
- Castell, X. E. (2001). 93). *ÁRIDO LIGERO EXPANDIDO A BASE DE RESIDUOS: ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS. Revista de la Bolsa Nacional de Residuos y Subproductos Industriales de Colombia, 22-12.*
- Cauas, D. (2020). *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación.*
- Caicedo Wilson, T. F. (2019). *Repositorio Universidas Central del Ecuador.* Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18703/1/T-UCE-0011-ICF-135.pdf>
- Cemento Portland: Tipos, propiedades y usos.* (s. f.). Recuperado 13 de octubre de 2023, de <https://www.paviconj-es.es/noticias/cemento-portland/>
- CEMEX. (2019). *Hablando de Cementos Portland | CEMEX Perú.* <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- CEMEX. (2017). *CEMEX - Hormigones ligeros .* Obtenido de [https://www.cemex.es/composicion-hormigon-ligero#:~:text=El%20hormig%C3%B3n%20ligero%20estructural%20\(HLE,artificial%2C%20y%20que%20tiene%20una](https://www.cemex.es/composicion-hormigon-ligero#:~:text=El%20hormig%C3%B3n%20ligero%20estructural%20(HLE,artificial%2C%20y%20que%20tiene%20una)

Contreras, G. A. (Octubre de 2016). *Repositorio Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25669/1/Tesis.pdf>

David Valle. (2022). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL TEMA: "LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL.*

*Escuela de Ingeniería Técnica Civil*. (2007). Obtenido de *Arquitectura Tècnica* : [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6202/mod\\_resource/content/1/Hormigon\\_01.\\_Historia.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6202/mod_resource/content/1/Hormigon_01._Historia.pdf)

Gómez Del Pezo, R. S., & Mora Figueroa, J. A. (2022). *Diseño de hormigón celular en base a espumante RV-2020 y cerámica cocida*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6942>

Gómez Rogelio - Mora Jairo. (2021). *UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA INGENIERÍA CIVIL*.

González Jorge, Lucia Villón. (23 de Agosto de 2023). *REPOSITORIO UPSE*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9929>

Guarderas, A. (2023). *Revista Clave*. Obtenido de *Bienes Raíces Clave*: <https://www.clave.com.ec/hormigon-excelencia-en-la-construccion/>

Gustavo, A. (2016). Obtenido de <https://www.arquitectogustavo.com.ar/Archs/hormliv2-ICPA.pdf>

GRUPO PCC. (2022, agosto 23). *¿Qué vale la pena saber sobre el concreto celular? - Portal de productos del grupo PCC*. <https://www.products.pcc.eu/es/blog/que-vale-la-pena-saber-sobre-el-concreto-celular/>

HNOS. GONZÁLEZ LUCAS S.A. (2020). *Áridos para hormigón: los mejores - Los Trincheras*. <https://lostrincheras.com/aridos-para-hormigon-los-mejores/>

Huertas Nardy. (2021). *DISEÑO DE MEZCLA DE UN CONCRETO CELULAR DE BAJA DENSIDAD UTILIZANDO RESIDUOS DE CANTERA NARDY GISELA HUERTAS COBOS UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL GIRARDOT-CUNDINAMARCA*.

Iván Urbina. (2022, diciembre 12). *La importancia de los áridos en el mezclado de hormigón: Conozca sus características y las novedades - La Cuarta Constructor* | *La Cuarta Constructor*. <https://constructor.lacuarta.com/noticias/vitrina-del-maestro/la-importancia-de-los-aridos-en-el-mezclado-de-hormigon-conozca-sus-caracteristicas-y-las-novedades.html>

José, B., & Castellanos, P. (2017). *El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales\* Use of Deductive and Inductive Methods to Increase the Efficiency in the Acquisition and Processing of Digital Evidence O uso dos métodos deductivo e inductivo para aumentar a eficiência do processamento de aquisição de evidencias digitais*. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi>

Luzón, C., & Junior, H. (s. f.). *FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL MACHALA 2021*.

Magaly Henríquez. (2018). *Estudio de tendencia: Aplicaciones de la Colofonia y sus derivados*. <https://www.redalyc.org/journal/707/70757670002/html/>

Marino Centano. (2022). *Resinas de Colofonia Dimerizadas» Ciencia e Tecnologia da Borracha Ciencia e Tecnologia da Borracha*. <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/agentes-de-pegajosidade/tipos-agentes-de-pegajosidade/resinas-de-colofonia-dimerizadas/>

- Mexpolímeros. (2020). *Agente espumante - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos*. <https://www.mexpolimeros.com/agente%20espumante.html>
- Morales, L. W., Santamaría, J. L., Caicedo, W., & Tipán, F. (2019). Hormigón Estructural de Baja Densidad para Edificaciones. *INGENIO*, 2(2). <https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1704>
- Nautica. (2015). *Bunny.net*. Obtenido de [https://wiki-ead.b-cdn.net/images/5/5a/Clase\\_2\\_construcci%C3%B3n\\_1\\_n%C3%A1utica\\_2015\\_Hormig%C3%B3n.pdf](https://wiki-ead.b-cdn.net/images/5/5a/Clase_2_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_Hormig%C3%B3n.pdf)
- Nistal, A., Renata, M., & Ruiz, T. (2012). El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores identificativos de su resistencia. *Tecnología y desarrollo*, 10(0), 13. [https://revistas.uax.es/index.php/tec\\_des/article/view/577](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/577)
- Omar Javier Silva. (2023). *PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL CONCRETO CELULAR - 360 EN CONCRETO*. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-y-aplicaciones-del-concreto-celular-1/>
- Palacio, A. (6 de Octubre de 2020). *AJEA - Actas de jornadas y eventos académicos de UTN*. Obtenido de <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/692>
- POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO*. (2021). [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
- Polímeros. (2019). *Agentes Espumantes*. <https://todoenpolimeros.com/2019/01/11/agentes-espumantes/>
- Quimicaindustrial. (2023). *Resina De Colofonia | Química Industrial*. <https://quimicaindustrial.cl/producto/resina-de-colofonia/>
- Ricardo, C., Rolando, R., Sánchez, A., Santiago, C., Aguayo, I. V., Crisóstomo, A., & Libertad, L. (2023). *Estudio comparativo para la fabricación de hormigón celular de densidad 400 kg/m<sup>3</sup> con diferente líquidos espumantes KV-LITE*



*AFFF, Sika poro plus, RV 2000-2 y jaboncillo Sapindus saponaria.*  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9923>

SRL., M. (2022). *DE HORMIGON*. Obtenido de HORMIGON CELULAR:  
<https://dehormigon.com.ar/hormigon-celular/>

Técnica Cemento Chimborazo Tipo, F. H., & Chimborazo HIDRÁULICO ALTA,  
C. DE. (2023). *FICHA TÉCNICA DESCRIPCIÓN INFORMACIÓN  
TÉCNICA CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO HE CEMENTO  
INDUSTRIAL DE ALTA RESISTENCIA INICIAL TIPO HE.*

*Tipos de hormigón, características y aplicaciones.* (s. f.). Recuperado 12 de octubre  
de 2023, de [https://frumecar.com/2021/05/10/tipos-de-hormigon-  
caracteristicas-y-aplicaciones/?lang=es](https://frumecar.com/2021/05/10/tipos-de-hormigon-caracteristicas-y-aplicaciones/?lang=es)

Troya, E., Puteoli, E., & Mar, S. (2011). HISTORIA DEL CEMENTO  
Introducción. *ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 1, 2011,*  
93-102.

Valdez, L. F., Suárez, G., & Proaño, G. (2012). Hormigones Livianos. *Revista de  
la Escuela Superior Politécnica Del Litoral*, 1-8. [https://concrete-  
chip.webnode.es/\\_files/200000069-6033c612a5/Paper8.pdf](https://concrete-chip.webnode.es/_files/200000069-6033c612a5/Paper8.pdf)

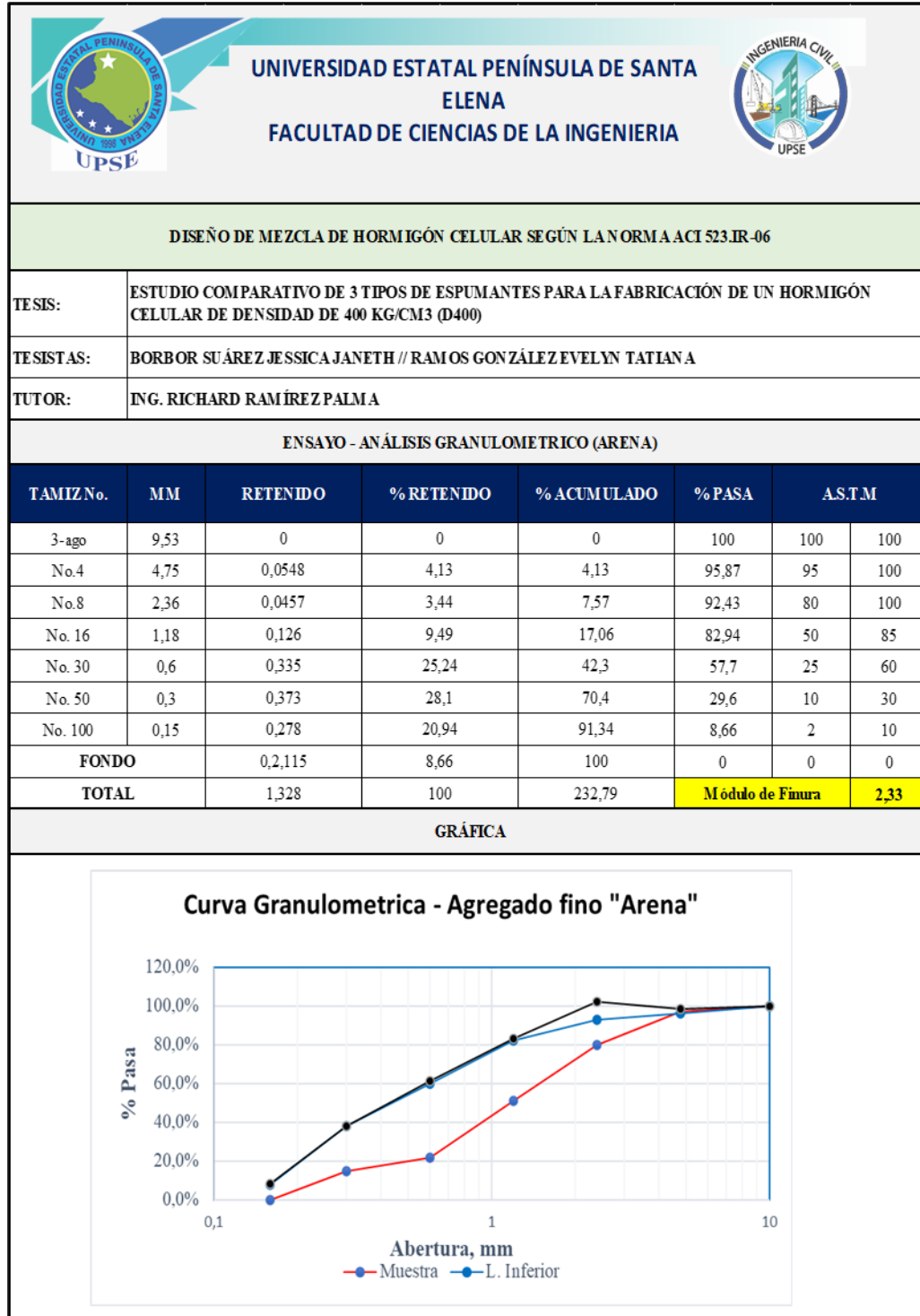
Véliz Aguayo, A. C., Herrera Brunett, G. A., Ramírez Palma, R. I., & Salvatierra  
Barzola, M. A. (2023). El hormigón celular: Análisis y difusión a nivel  
industrial en Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 10(1).  
<https://doi.org/10.26423/rctu.v10i1.676>

Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. *Construcción y tecnología en  
concreto.*

Yupangui, M. R. (Octubre de 2013). *Escuela Politécnica Nacional* . Obtenido de  
[file:///C:/Users/ALLISON/Downloads/CD-5165%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/ALLISON/Downloads/CD-5165%20(4).pdf)

# ANEXOS

## Anexo 1 Ensayo de granulometría del agregado fino.



**Anexo 2** Registro fotográfico del ensayo de la Mesa de flujo.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b></p> 	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523.IR-06</b>	
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM3 (D400)
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA
<b>ENSAYO - MESA DE FLUJO</b>	
	

### Anexo 3 Registro de la densidad de los espumantes



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




**DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523.IR-06**

<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM <sup>3</sup> (D400)
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA

**DENSIDAD DE LOS ESPUMANTES**

DENSIDAD DE LOS ESPUMANTES		
ESPUMANTE	DENSIDAD	UNIDAD
RV+COLOFONIA	51,76	KGM <sup>3</sup>
KV LITE AFFF	52,33	KGM <sup>3</sup>
SIKA PORO PLUS	51,18	KGM <sup>3</sup>

**RV+COLOFONIA**



**KV LITE AFFF**





**SIKA PORO PLUS**







**ELABORADO POR:** RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA

**REVISADO POR:** ING. RICHARD RAMIREZ

## Anexo 4 Registro de estabilidad de las espumas

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b> </div> 			
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523-IR-06</b>			
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM <sup>3</sup> (D400)		
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA		
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA		
<b>ESTABILIDAD DE LOS ESPUMANTES</b>			
<b>ESTABILIDAD DE ESPUMA</b>			
<b>ESPUMA</b>	<b>TIEMPO DE DURACIÓN (horas)</b>		
	<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>	<b>DURACIÓN</b>
RV 2020	10:30	18:50	8:20
RV+COLOFONIA	10:30	20:30	10:00
KV LITE AFF	10:30	19:00	9:10
SIKA PORO PLUS	10:30	18:30	8:00

<b>ELABORADO POR:</b>	RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA
<b>REVISADO POR:</b>	ING. RICHARD RAMIREZ

**Anexo 5** Registro de la fabricación del concreto celular con espumante RV2000-2 + COLOFONIA.



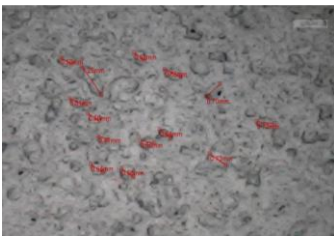
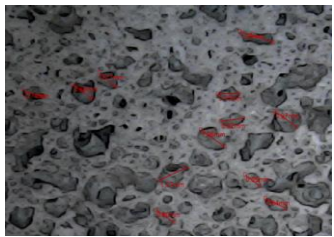
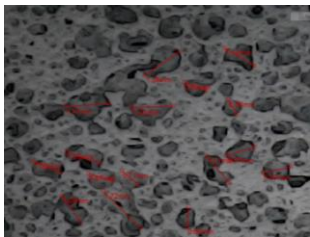
 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b></p> 	
<b>DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523.IR-06</b>	
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM <sup>3</sup> (D400)
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA
<b>ELABORACIÓN DE CEMENTO CELULAR CON ESPUMANTE RV 2000-2 + COLOFONIA</b>	
	



**Anexo 6** Registro de la fabricación del concreto celular con espumante KV LITE AFFF.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b></p> 	
<p><b>DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523.IR-06</b></p>	
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM3 (D400)
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA
<p><b>ELABORACIÓN DE CEMENTO CELULAR CON ESPUMANTE KV LITE AFFF</b></p>	
	

## Anexo 7 Tamaño de las burbujas

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b> </div> 																																																							
DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACT 523.IR-06																																																							
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM3 (D400)																																																						
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA																																																						
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA																																																						
RESISTENCIA DE LOS ESPUMANTES																																																							
	<table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">RV+COLOFONIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0,61</td></tr> <tr><td></td><td>0,62</td></tr> <tr><td></td><td>0,6</td></tr> <tr><td></td><td>0,56</td></tr> <tr><td></td><td>0,58</td></tr> <tr><td></td><td>0,63</td></tr> <tr><td></td><td>0,64</td></tr> <tr> <td><b>PROMEDIO</b></td> <td><b>0,61</b></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">KV LITE AFFF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0,72</td></tr> <tr><td></td><td>0,73</td></tr> <tr><td></td><td>0,77</td></tr> <tr><td></td><td>0,69</td></tr> <tr><td></td><td>0,7</td></tr> <tr><td></td><td>0,66</td></tr> <tr><td></td><td>0,68</td></tr> <tr> <td></td> <td><b>0,71</b></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th colspan="2">SIKA PORO PLUS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0,75</td></tr> <tr><td></td><td>0,78</td></tr> <tr><td></td><td>0,79</td></tr> <tr><td></td><td>0,69</td></tr> <tr><td></td><td>0,7</td></tr> <tr><td></td><td>0,65</td></tr> <tr><td></td><td>0,65</td></tr> <tr> <td></td> <td><b>0,72</b></td> </tr> </tbody> </table>	RV+COLOFONIA			0,61		0,62		0,6		0,56		0,58		0,63		0,64	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,61</b>	KV LITE AFFF			0,72		0,73		0,77		0,69		0,7		0,66		0,68		<b>0,71</b>	SIKA PORO PLUS			0,75		0,78		0,79		0,69		0,7		0,65		0,65		<b>0,72</b>
RV+COLOFONIA																																																							
	0,61																																																						
	0,62																																																						
	0,6																																																						
	0,56																																																						
	0,58																																																						
	0,63																																																						
	0,64																																																						
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,61</b>																																																						
KV LITE AFFF																																																							
	0,72																																																						
	0,73																																																						
	0,77																																																						
	0,69																																																						
	0,7																																																						
	0,66																																																						
	0,68																																																						
	<b>0,71</b>																																																						
SIKA PORO PLUS																																																							
	0,75																																																						
	0,78																																																						
	0,79																																																						
	0,69																																																						
	0,7																																																						
	0,65																																																						
	0,65																																																						
	<b>0,72</b>																																																						
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>RV+COLOFONIA</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>KV LITE AFFF</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>SIKA PORO PLUS</b></p>  </div> </div>																																																						
<b>ELABORADO POR:</b>	RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA																																																						
<b>REVISADO POR:</b>	ING. RICHARD RAMIREZ																																																						



**Anexo 8** Registro fotográfico del ensayo a la compresión de los especímenes de hormigón celular.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b></p> 	
<p><b>DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523.IR-06</b></p>	
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DE 3 TIPOS DE ESPUMANTES PARA LA FABRICACIÓN DE UN HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD DE 400 KG/CM3 (D400)
<b>TESISTAS:</b>	BORBOR SUÁREZ JESSICA JANETH // RAMOS GONZÁLEZ EVELYN TATIANA
<b>TUTOR:</b>	ING. RICHARD RAMÍREZ PALMA
<p><b>ENSAYO A LA COMPRESIÓN</b></p>	
  	

**Anexo 9** Análisis presupuestario de cada una de las dosificaciones con agregado fino y sin agredo fino.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:	1,00	UNIDAD:			
DETALLE:	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (RV+COLOFONIA)				
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,6253
Compresor de 116 PSI	2,000	3,7500	7,5000	0,5000	3,750
Batidora Manual	1,500	3,1250	4,6875	0,5000	2,344
Maquina generadora de espuma	1,500	3,1250	4,6875	0,3000	1,406
SUBTOTAL M =					8,1253
<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	4,0200	12,0600	0,5000	6,0300
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,2000	8,4000	0,5000	4,2000
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,5000	2,2750
SUBTOTAL N =					12,5050
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento Tipo HE	kg	7,000	0,1600	1,1200	
Arena	m3	2,430	20,0000	48,6000	
Agua	m3	0,450	1,5000	0,6750	
COLOFONIA	g	16,000	0,1000	1,6000	
RV 2020	lt	0,400	25,0000	10,0000	
SUBTOTAL O =				61,9950	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
Movilización de materiales	1,000	1,000	5,000	5,000	
SUBTOTAL P =				5,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					87,6253
INDIRECTOS Y UTILIDAD ... 25,00%					21,9063
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					109,5316
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 109,53</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:	2,00	UNIDAD:	m3		
DETALLE:	HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (KV LITE AFF)				
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,6253
Compresor de 116 PSI	2,000	3,7500	7,5000	0,5000	3,750
Batidora Manual	1,500	3,1250	4,6875	0,5000	2,344
Maquina generadora de espuma	1,500	3,1250	4,6875	0,3000	1,406
SUBTOTAL M =					8,1253
<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	4,0200	12,0600	0,5000	6,0300
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,2000	8,4000	0,5000	4,2000
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,5000	2,2750
SUBTOTAL N =					12,5050
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento Tipo HE	kg	7,000	0,1700	1,1900	
Arena	m3	2,430	20,0000	48,6000	
Agua	m3	0,250	1,5000	0,3750	
KV LITE AFFF	lt	0,200	25,0000	5,0000	
RV 2020	lt	0,150	25,0000	3,7500	
SUBTOTAL O =				58,9150	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
Movilización de materiales	1,000	1,000	5,000	5,000	
SUBTOTAL P =				5,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					84,5453
INDIRECTOS Y UTILIDAD ... 25,00%					21,1363
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					105,6816
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 105,68</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: 3,00		UNIDAD:			
DETALLE: HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (SIKA PORO PLUS)					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,6253
Compresor de 116 PSI	2,000	3,7500	7,5000	0,5000	3,750
Batidora Manual	1,500	3,1250	4,6880	0,5000	2,344
Maquina generadora de espuma	1,500	3,1250	4,6880	0,3000	1,406
SUBTOTAL M =					8,1253
<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	4,0200	12,0600	0,5000	6,0300
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,2000	8,4000	0,5000	4,2000
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,5000	2,2750
SUBTOTAL N =					12,5050
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento Tipo HE	kg	7,000	0,1600	1,1200	
Arena	m3	2,430	20,0000	48,6000	
Agua	m3	0,150	1,5000	0,2250	
SIKA PORO PLUS	lt	0,200	19,0000	3,8000	
RV 2020	lt	0,150	25,0000	3,7500	
SUBTOTAL O =					57,4950
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
Movilización de materiales	1,000	1,000	3,000	3,000	
SUBTOTAL P =					3,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					81,1253
INDIRECTOS Y UTILIDAD ... 25,00%					20,2813
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					101,4066
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 101,41</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: 4,00		UNIDAD:			
DETALLE: HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (RV+COLOFONIA)					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,6253
Compresor de 116 PSI	2,000	3,7500	7,5000	0,5000	3,750
Batidora Manual	1,500	3,1250	4,6875	0,5000	2,344
Maquina generadora de espuma	1,500	3,1250	4,6875	0,3000	1,406
SUBTOTAL M =					8,1253
<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	4,0200	12,0600	0,5000	6,0300
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,2000	8,4000	0,5000	4,2000
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,5000	2,2750
SUBTOTAL N =					12,5050
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento Tipo HE	kg	9,000	0,1700	1,5300	
Agua	m3	0,450	1,5000	0,6750	
COLOFONIA	g	16,000	0,1500	2,4000	
RV 2020	lt	0,450	25,0000	11,2500	
RV+COLOFONIA	lt	0,6000	25,0000	15,0000	
SUBTOTAL O =					30,8550
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
Movilización de materiales	1,000	1,000	5,000	5,000	
SUBTOTAL P =					5,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					56,4853
INDIRECTOS Y UTILIDAD ... 25,00%					14,1213
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					70,6066
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 70,61</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: 5,00		UNIDAD: M3			
DETALLE: HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (KV LITE AFF)					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,6253
Compresor de 116 PSI	2,000	3,7500	7,5000	0,5000	3,750
Batidora Manual	1,500	3,1250	4,6875	0,5000	2,344
Maquina generadora de espuma	1,500	3,1250	4,6875	0,3000	1,406
SUBTOTAL M =					8,1253
<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	4,0200	12,0600	0,5000	6,0300
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,2000	8,4000	0,5000	4,2000
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5500	4,5500	0,5000	2,2750
SUBTOTAL N =					12,5050
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento Tipo HE	kg	9,000	0,1700	1,5300	
Agua	m3	0,450	1,5000	0,6750	
KV LITE AFFF	lt	0,600	25,0000	15,0000	
RV 2020	lt	0,450	25,0000	11,2500	
SUBTOTAL O =					28,4550
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
Movilización de materiales	1,000	1,000	5,000	5,000	
SUBTOTAL P =					5,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					54,0853
INDIRECTOS Y UTILIDAD ... 25,00%					13,5213
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					67,6066
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 67,61</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO: 6,00		UNIDAD:			
DETALLE: HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 KG/M3 (SIKA PORO PLUS)					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5 % M/O					0,6240
Compresor de 116 PSI	2,000	3,7500	7,5000	0,5000	3,750
Batidora Manual	1,500	3,1250	4,6880	0,5000	2,344
Maquina generadora de espuma	1,500	3,1250	4,6880	0,3000	1,406
SUBTOTAL M =					8,1240
<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	4,0200	12,0600	0,5000	6,0300
Albañil (estr.ocp. D2)	2,000	4,2000	8,4000	0,5000	4,2000
Maestro (estr.ocp. C1)	1,000	4,5000	4,5000	0,5000	2,2500
SUBTOTAL N =					12,4800
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento Tipo HE	kg	9,000	0,1700	1,5300	
Agua	m3	0,450	1,5000	0,6750	
SIKA PORO PLUS	lt	0,600	25,0000	15,0000	
RV 2020	lt	0,450	25,0000	11,2500	
SUBTOTAL O =					28,4550
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
Movilización de materiales	1,000	1,000	3,000	3,000	
SUBTOTAL P =					3,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					52,0590
INDIRECTOS Y UTILIDAD ... 25,00%					13,0148
OTROS INDIRECTOS ..... %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					65,0738
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 65,07</b>



## Ficha Técnica

**Nombre comercial :** Colofonia

**Revisión :** 19/8/2013

**Fecha de impresión :** 5/12/2013

### Composición

Colofonia obtenida por fusión y purificación de la resina natural de pino. Se presenta en forma de sólido vítreo.

### Propiedades Físicas

**Aspecto :** Sólido cristalino

**Color (Escala Gardner) :** 5

**Olor :** Pino

**Punto de fusión :** 66.5-93.4°C

**Punto inicial de ebullición :** 265°C

**Punto de inflamación :** 208.1°C

**Inflamabilidad (sólido, gas) :** No inflamable

**Presión de vapor :** 4.8-10-8 mbar – 1.41 mbar (componentes)

**Densidad relativa :** 1.034g/cm<sup>3</sup> (20°C)

**Solubilidad(es) :** 0.9 mg/L (20°C.)

**Coefficiente de reparto n-octanol/agua :** 0.74 a 6.5 (componentes)

**Temperatura de auto-inflamación :** 335.5°C a >400°C

**Propiedades explosivas :** No explosivo

**Propiedades comburentes :** No comburente

**Cristalización :** + de 1,5 horas

**LA (Índice de acidez) :** 165.4 mg KOH/g

**Viscosidad :** 858.71 cps



## Anexo 11 Ficha técnica de KV LITE AFFF.

SECTION 1- CHEMICAL PRODUCT & COMPANY IDENTIFICATION			
Product Identification	KV-LITE AR- AFFF FOAM CONCENTRATE, 3X3 & 3X6 %- ISI MARKED/UL LISTED		
Application & Use	Fire Extinguishing Foam concentrate		
Manufacturer Address	M/S K.V. FIRE CHEMICALS (INDIA ) PVT. LTD, 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: info@kvfire.com WEBSITE: www.kvfire.com Emergency Contact (IN) +91-92241 09676		
Product Description	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	NA	
Proprietary Mixture of Hydrocarbon & Fluoro Carbon Surfactants	10-32	NA	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.		



## 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 14089-2: 2006 Class II para uso estructural de concretos.

#### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

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

## Anexo 13 Ficha técnica del cemento industrial TIPO HE.



**CEMENTO CHIMBORAZO**

 [www.ucem.com.ec](http://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 molienda 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 <small>MPa</small>	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



**UCEM**  
UNIÓN CEMENTERA NACIONAL