

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE
CONCRETO CELULAR, CON EQUIPOS Y ADITIVOS
DE BAJO COSTO, PARA SER UTILIZADOS
EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

Realizado por:

Br. Contreras G, Henrique J.
C.I: 26.751.805

Br. Siso T, Osniel A.
C.I: 27.214.451

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, marzo de 2024

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE
CONCRETO CELULAR, CON EQUIPOS Y ADITIVOS
DE BAJO COSTO, PARA SER UTILIZADOS
EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

Revisado por:

Prof. Álvarez, Jesús

Tutor Académico

Cantaura, marzo de 2024

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE
CONCRETO CELULAR, CON EQUIPOS Y ADITIVOS
DE BAJO COSTO, PARA SER UTILIZADOS
EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

El jurado hace constar que ha asignado a esta tesis la calificación de:

APROBADO

Jurado calificador:

Prof. Serrano, Guillermo

Jurado Principal

Prof. Prado, Gabriela

Jurado Principal

Cantaura, marzo de 2024

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”



DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y protector en todo momento, darme sabiduría, Salud y fortaleza para no rendirme durante toda la carrera y poder materializar este momento tan esperado.

A mis padres, Fanny Gómez y José Contreras, por ser ese apoyo incondicional, la motivación para continuar y no desfallecer en el intento, por ser esa ayuda cuando más lo necesitaba, sin ustedes esto no hubiese sido posible, mi mayor admiración pues a ustedes les debo todo, y dedicarle este logro me llena de orgullo.

A mi hermana Paola, por su apoyo, sus consejos y palabras de aliento, por siempre recalcarme que todo con fe, constancia, disciplina y dedicación se puede cumplir, por muy grandes que sean nuestros sueños se quedan pequeños cuando nos dedicamos a hacerlos realidad.

Contreras G, Henrique J.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios y a la Virgen del Valle, por haber sido mis guías durante todo este recorrido, por darme fuerzas para superar los obstáculos y continuar hasta llegar a la meta.

A mis padres y mi hermana, que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Son ellos los que me han impulsado a perseguir mis metas y no abandonarlas frente a las adversidades.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor el Ing. Jesús Álvarez por su dedicación, disposición y paciencia para brindarnos sus conocimientos y asesoramiento en la realización de esta tesis, sin sus palabras y correcciones no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por todas sus enseñanzas y consejos, permanecerán grabados para siempre en mi futuro profesional.

Por último y no menos importante agradecer a mi casa de estudios, que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido formarme para obtener mi tan ansiado título.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Contreras G, Henrique J.

DEDICATORIA

A Dios, pues sin él esta meta no sería posible, por guiar mis pasos y en mis tropiezos ser esa luz al final del túnel, dándome fortaleza y perseverancia para no rendirme ante las adversidades.

A mis padres, Daniel Siso y Osneyder Torrealba les dedico estas palabras como un pequeño reconocimiento al esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida y mis estudios, por enseñarme la importancia de la constancia y dedicación a mis proyectos personales.

A mi hermana Daniela Siso, porque ha sido también una fuente de estímulo y dedicación a mi carrera y materialización de esta anhelada meta.

A mis abuelos Hernán Torrealba, Acela González, María Andarcia, y Antonio Siso que desde el cielo aun sin haberte conocido te dedico este logro.

Siso T, Osniel A.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser el pilar para afrontar todas las pruebas que se me han puesto en el camino, por ayudarme a continuar con salud para poder hacer realidad este proyecto y por sobre todo no perder la fe en los momentos difíciles.

A mi familia, por creer en mí, por darme el ejemplo de superación, humildad y sacrificio, lo que ha contribuido a la consecución de este logro.

A la familia Siso, Torrealba, Hernández y Cheng que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

A mi tutor el Ing. Jesús Álvarez, por habernos dedicado su tiempo para poder llevar a cabo este proyecto, por su colaboración desinteresada, sus consejos y ayuda en todo momento.

A los profesores de la Universidad de Oriente - Extensión Cantaura, que conforman esta casa de estudios llamada "La Casa más Alta" donde me forme como profesional y agradezco a cada uno de ellos por el aprendizaje impartido y por las experiencias vividas.

A mis compañeros y colegas, por también haber sido parte de este objetivo.

Siso T, Osniel A.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



PROPUESTA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE
CONCRETO CELULAR, CON EQUIPOS Y ADITIVOS
DE BAJO COSTO, PARA SER UTILIZADOS
EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI

Tutor:

Prof. Álvarez, Jesús.

Autor (es):

Br. Contreras, Henrique.

Br. Siso, Osniel.

Fecha: marzo 2024

RESUMEN

La presente investigación es de tipo descriptiva y de nivel experimental, la cual se basó en la propuesta de elaboración de un prototipo de bloques de concreto celular. Con el objetivo de proporcionar un bloque con características resaltantes dentro del ámbito de la construcción, diferente al bloque convencional que se usa generalmente. Para la realización del mismo fue necesario la elaboración de una máquina generadora de espuma y capaz de crear distintos modelos hasta encontrar el diseño de la mezcla óptima probando diferentes productos espumantes, obteniendo como resultado un bloque de concreto celular liviano, económico, de calidad y durabilidad, para ser utilizado en todo tipo de construcciones. El mismo también fue sometido a diferentes pruebas de compresión, absorción de agua, evaluación de comportamiento térmico y frisado con equipos y aditivos de bajo costo, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM-C1386. Demostrando finalmente que es un producto apto para ser usado en interiores y exteriores, mediante las distintas pruebas mencionadas y por su bajo costo calculado a la hora de su elaboración con el programa comercial LuloWin en su versión 2014 con datos actualizados del 2024.

Palabras claves: bloques, concreto celular, pruebas de compresión, absorción de agua, comportamiento térmico.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
RESUMEN	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I	24
EL PROBLEMA	24
1.1 Planteamiento del problema	24
1.2 Objetivos de la investigación	28
1.2.1 Objetivo general	28
1.2.2 Objetivos específicos	28
1.3 Generalidades	29
1.3.1 Ubicación geográfica	29
1.3.2 Identificación de la empresa	30
1.4 Justificación	30

CAPÍTULO II	32
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	32
2.1 Antecedentes de la Investigación	32
2.2 Bases Teóricas Referenciales	35
2.2.1 Concreto celular	35
2.2.2 Clasificación de concretos especiales	36
2.2.3 Fabricación del Concreto Celular	40
2.2.4 Tipos de concreto u hormigón celular	42
2.2.5 Propiedades del concreto celular	44
2.2.6 Materiales para elaboración de un concreto celular	46
2.2.7 Fases de producción del concreto celular	50
2.2.8 Características de un concreto celular	52
2.2.9 Generador de espuma para concreto celular	55
2.2.10 Aditivo espumante para concretos celulares	56
2.2.11 Tipos de agente espumante	57
2.2.12 Tabiquerías de construcción civil donde se puede emplear el bloque de concreto celular	57
2.2.13 Ventajas y desventajas del concreto celular	59
2.2.14 Impacto del concreto celular en el medio ambiente	60
2.2.15 Definición de términos básicos	60
CAPÍTULO III	63
MARCO METODOLÓGICO	63
3.1 Tipo de la Investigación	63

3.2 Nivel de la Investigación.....	63
3.3 Técnicas de la investigación a utilizar	64
3.3.1 Técnicas de recolección de datos.....	64
3.4 Instrumentos a utilizar	66
3.5 Herramientas y equipos a utilizar	67
3.6 Técnicas de análisis y procesamiento de datos	67
3.6.1 Análisis Cualitativo.....	67
3.6.2 Análisis Cuantitativo.....	68
3.8 Flujograma de la metodología y su descripción	68
3.8.1 Descripción del flujograma de la metodología	68
CAPÍTULO IV.....	84
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	84
4.1 Identificación de los elementos para la creación de un prototipo de bloque de concreto celular óptimo.....	84
4.2 Realización de un diseño de mezcla para la elaboración del bloque celular liviano, para ser usado en tabiquerías de construcciones civiles... 88	
4.3 Efectuar pruebas de compresión, absorción de agua, comportamiento térmico y frizado a los bloques de concreto celular obtenidos, según lo establecido por la <i>American Society Testing and Materials (ASTM)</i> , norma ASTM-C1386.....	102
4.4 Presentación de un análisis de precio unitario del bloque del concreto celular y compararlo con el costo de un bloque tradicional usando el programa comercial LuloWin versión 2014.	113
4.5 Comparación mediante un análisis de ciclo de vida, el bloque de concreto celular con el bloque tradicional.	116

CAPÍTULO V.....	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
HOJAS DE METADATOS.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad y resistencia a la compresión.....	53
Tabla 2. Ventajas y Desventajas del concreto u hormigón celular.....	59
Tabla 3. Descripción de los elementos usados para la fabricación del concreto celular.	85
Tabla 4. Nomenclatura y composición de las mezclas para la fabricación de la espuma.....	86
Tabla 5. Nomenclatura y composición de las mezclas para la fabricación de espuma con mayor densidad.....	88
Tabla 6. Resultado de los ensayos para encontrar la mezcla óptima en la elaboración del prototipo de bloque de concreto celular liviano.....	90
Tabla 7. Resultado de los ensayos para encontrar la mezcla óptima en la elaboración del prototipo de bloque de concreto celular liviano utilizando el tipo de espumante genapol.	95
Tabla 8. Características de bloque de concreto celular óptimo.	96
Tabla 9. Materiales y composición para la elaboración de la pega o lechada para adherir los bloques de concreto celular fabricados.....	98
Tabla 10. Materiales para la propuesta de elaboración de la maquina generadora de espuma industrial.....	100
Tabla 11. Resultados del ensayo de la resistencia a compresión.....	103
Tabla 12. Resultado de prueba de absorción	104
Tabla 13. Comparación del costo del Bloque de concreto celular liviano y un bloque de concreto tradicional.	116

Tabla 14. Cuadro comparativo del impacto ambiental de los bloques de concreto celular y los de concreto tradicional. 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la empresa Alexcar C.A	29
Figura 2. Clasificación de concretos ligeros.....	37
Figura 3. Componentes bases de los concretos especiales de acuerdo a su clasificación.....	39
Figura 4. Producción del concreto celular.....	51
Figura 6. Flujograma de la Investigación	69
Figura 7. Máquina generadora de Espuma.....	71
Figura 8. Bombona de gas con capacidad de 48 kg usada en la maquina generadora de espuma.....	72
Figura 9. Reacción para la formación de un jabón.....	73
Figura 10. Molécula de un jabón.....	74
Figura 11. Gráfica del comportamiento de prueba de compresión	78
Figura 12. Bloque desintegrado como resultado del exceso de espuma en la mezcla MB1.	91
Figura 13. Bloque desintegrado como resultado del uso de jabones líquidos artesanales como la mezcla MB2.	91
Figura 14. Bloque desintegrado como resultado del uso del jabón Oso blanco como las mezclas MB3, MB4 y MB6.....	92
Figura 15. Bloque desintegrado como resultado del uso de elementos como la arena en la mezcla MB6.	92
Figura 16. Bloque mal formado como resultado de un mal encofrado. Sin embargo, mantuvo la unión sin desintegrarse, utilizando la mezcla MB7.	93
Figura 17. Tipo de espumante “Genapol”.	94

Figura 18. Bloque de concreto celular de prueba incompleto con la mezcla MB8.	97
Figura 19. Bloque de concreto celular fabricado con mezclas como MB9, MB10.	97
Figura 20. Bloque de concreto celular fabricado con la mezcla óptima MB12.	98
Figura 21. Comprobación de efectividad de la prueba elaborada para adherir los bloques de concreto celular.....	99
Figura 22. Vista isométrica de la máquina generadora de espuma industrial para producir bloques de concreto celular.	100
Figura 23. Vista frontal de la máquina generadora de espuma industrial para producir bloques de concreto celular.	101
Figura 24. Vista lateral derecha (Panel de control) de la máquina generadora de espuma industrial para producir bloques de concreto celular.	101
Figura 25. Bloque de concreto celular húmedo en la balanza digital, determinando su peso con una muestra de la mezcla MB12,	104
Figura 26. Bloque de concreto celular seco en la balanza digital, determinando su peso el día uno con una muestra de la mezcla MB12.....	105
Figura 27. Bloque de concreto celular seco a los dos días de haber sido sumergido para determinar el resto de agua que absorbió el día dos con una muestra de la mezcla MB12.....	105
Figura 28. Procedimiento de prueba de absorción de agua.	106
Figura 29. Temperatura en hornilla de cocina a fuego directo, comprobada con el termómetro digital.	107
Figura 30. Prueba de fuego directo al bloque de concreto celular con la mezcla óptima MB12.....	108

Figura 31. Resultado de la cara principal del bloque de concreto celular (MB12) donde recibió el fuego directo.	108
Figura 32. Resultado de las caras restantes del bloque de concreto celular (MB12) que no recibieron fuego directo.	109
Figura 33. Prueba al bloque de concreto celular en la simulación de una cava con hielo, midiendo la temperatura y el comportamiento de dicho bloque con la mezcla MB12.	110
Figura 34. Cava con hielo cerrada, para prueba de temperatura al bloque de concreto celular.	111
Figura 35. Temperaturas tomadas con el termómetro digital durante ciertos períodos de tiempo.	111
Figura 36. Resultado de la prueba de frizado al bloque de concreto celular.	112
Figura 37. Análisis de ciclo de vida de la fabricación del bloque de concreto celular.	122
Figura 38. Análisis de ciclo de vida de la fabricación del bloque de concreto tradicional.	128

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comportamiento de los primeros tipos de espumantes en relación a las densidades obtenidas.	87
Gráfica 2. Representación de comportamiento de acuerdo a otros tipos de espumante.	89
Gráfica 3. Densidad en espumante seleccionado para elaboración del bloque de concreto celular óptimo.	96
Gráfica 4. Resultados del ensayo de la resistencia a compresión.	102
Gráfica 5. Comportamiento del bloque de concreto celular en el ensayo de absorción de agua durante los días de prueba con la mezcla MB12.	106
Gráfica 6. Resultado de prueba térmica al bloque de concreto celular.	109

INTRODUCCIÓN

En el marco de un mundo en constante evolución y con la creciente necesidad de soluciones constructivas más eficientes y sostenibles, la presente investigación se erige como un análisis profundo y prospectivo en torno a la manufactura y aplicación de bloques de concreto celular en el contexto del Estado Anzoátegui, Venezuela. Este proyecto, titulado "Propuesta para la Fabricación de Bloques de Concreto Celular con Equipos y Aditivos de Bajo Costo, para ser Utilizados en el Estado Anzoátegui (Venezuela)", se posiciona como un estudio esencial para la optimización de los recursos disponibles y la generación de alternativas innovadoras en el ámbito de la construcción local.

Asimismo, la construcción es un sector de vital importancia en cualquier economía, siendo el motor de desarrollo que impulsa la materialización de infraestructuras y edificaciones que atienden las necesidades básicas de la sociedad. Sin embargo, en el contexto venezolano, y en específico en el Estado Anzoátegui, las condiciones económicas actuales han planteado desafíos significativos que requieren de una adaptación creativa y sustentable. La escasez de recursos financieros y la limitación en el acceso a insumos tradicionales para la construcción han incentivado la búsqueda de alternativas que permitan mantener el ritmo de edificación sin comprometer la calidad ni la seguridad de las estructuras.

Dicho lo anterior, la elaboración y empleo de bloques de concreto celular emerge como una propuesta de alto potencial, brindando una serie de ventajas técnicas y económicas. La ligereza de estos bloques, su capacidad de aislamiento térmico y acústico, así como su versatilidad en términos de

diseño y construcción, los convierten en un recurso valioso para la edificación de viviendas, comercios e instalaciones públicas en la región.

En este sentido, el presente proyecto tiene como objetivo principal analizar y desarrollar una propuesta integral para la fabricación de bloques de concreto celular, haciendo uso de equipos y aditivos de bajo costo que se ajusten a las condiciones locales. A través de un enfoque multidisciplinario que combina la ingeniería de materiales, la economía y la sostenibilidad, en el que se busca no solo establecer las bases técnicas y tecnológicas para la producción de estos bloques, sino también evaluar su viabilidad económica y su impacto en términos de reducción de costos y mejoramiento de la eficiencia energética en la construcción.

Por lo tanto, la investigación se estructura en una serie de etapas que abarcan desde la revisión bibliográfica exhaustiva y el análisis de materiales disponibles en la región, hasta la formulación y experimentación de mezclas de concreto celular. Se contempla además la evaluación de las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques producidos, así como la comparación con otros bloques convencionales presentes en el mercado local.

Al consolidar estos conocimientos y resultados, se pretende ofrecer una contribución significativa al campo de la construcción en Venezuela, específicamente en el Estado Anzoátegui, al proporcionar una alternativa factible y económica para la edificación sustentable. Así, esta investigación no solo aportó nuevos conocimientos a nivel académico, sino que también busca impactar directamente en la industria de la construcción, beneficiando a la sociedad en su conjunto a través de la generación de soluciones viables y eficientes que se alineen con las necesidades actuales y futuras del país. Dicho esto, la presente investigación se divide en los siguientes capítulos:

Capítulo I El Problema: En este capítulo se detalla de manera específica el planteamiento del problema, los alcances, los objetivos de la investigación y las generalidades que contiene la misma. Así como también, se manifiesta de forma clara la ubicación donde fue ejecutado el proyecto y su respectiva justificación.

Capítulo II Marco Teórico: Este capítulo presenta los antecedentes de la investigación, realizados por otros investigadores, así como los aspectos teóricos que permiten proporcionar una base conceptual del tema investigado. También, se incluyen definiciones de términos básicos empleados en este trabajo.

Capítulo III Marco Metodológico: Este capítulo corresponde a la descripción de la metodología empleada en el desarrollo de la investigación, se señala el tipo, nivel y diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos. Así como también, está incluida la metodología aplicada en las etapas de cada uno de los objetivos.

Capítulo IV Análisis de los Resultados: En este capítulo se presenta el análisis de los objetivos planteados, expresados por medio de tablas y gráficos, mediante los resultados arrojados por los ensayos realizados a cada uno de los bloques estudiados, los costos y el proceso de elaboración de los mismos, explicando los procedimientos para llevarlos a cabo.

Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones: En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes acerca de los resultados que se lograron obtener a lo largo del proceso de investigación y

experimento. Finalmente se presentan los anexos que amplían referente a todo lo realizado y proporcionan más la información del presente estudio.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la historia de las civilizaciones es de gran importancia la construcción de obras y edificaciones para el desarrollo y establecimiento de la sociedad. En este sentido, los materiales cementantes han tomado gran auge con el transcurrir del tiempo, en parte gracias a sus características de resistencia y durabilidad, permitiendo que las obras impulsadas por el ser humano trasciendan y su infraestructura perdure. Estas cualidades son obtenidas gracias al cemento, elemento fundamental en la composición del concreto, material de alta resistencia a los esfuerzos y cargas en una estructura, proporcionando al hombre mayor seguridad y estabilidad para sus construcciones.

En este orden de ideas, el concreto ha sido un material ampliamente usado alrededor del mundo debido a sus propiedades. No obstante, en la proyección de viviendas y edificaciones, gran parte de las cargas son debidas al peso propio de la estructura, el cual deriva del hormigón, la tabiquería, y otros materiales de construcción tradicionales, siendo este peso, por lo tanto, un factor que incide en altos costos constructivos. Así mismo, se debe tener en cuenta el factor de conductividad térmica, considerando que la mampostería tradicional logra realizar un aislamiento de poca eficiencia mediante cámaras de aire en el interior de la estructura.

Por otro lado, aun cuando la producción del cemento y del concreto se encuentra ampliamente extendida y su uso es ampliamente aceptado, las tecnologías de desarrollo, fabricación y producción, han permitido avanzar en nuevos productos cuyas características sobrepasan en ventajas al cemento. En este sentido, con el propósito de innovar en materiales constructivos más livianos, con excelentes características como baja densidad, muy poca transferencia de calor y costos accesibles, se presenta el concreto celular, cuyas propiedades físicas le otorgan ventajas para el uso en la construcción, y acá se presenta como una idea innovadora en el uso civil, el cual puede beneficiar a la estructura, ya que aportaría menor carga y, por tanto, disminuiría los costos de construcción.

Es por ello, que en esta oportunidad la propuesta estuvo basada en la idea de fabricar bloques de concreto celular con equipos y aditivos de bajo costo. Este concreto celular es conocido como hormigón celular, también referido como concreto celular ligero (CCL) o concreto celular de baja densidad (CCBD), y se trata de una suspensión a base de cemento, con un porcentaje variable de espuma agregada al concreto. Este material posee además la ventaja de lograr un excelente comportamiento de aislamiento térmico, destacando sobre la mampostería tradicional.

Por consiguiente, para cumplir el objetivo del proyecto, en primer lugar, fueron investigados diferentes componentes para la elaboración de los bloques, verificando que el conjunto de ingredientes sea homogéneo y óptimo. Luego de ello, será realizado el diseño de mezcla más idóneo para el bloque celular, considerando que la combinación ideal estará basada en los resultados obtenidos de las pruebas de comportamiento térmico, absorción y frisado, según los criterios establecidos por la *American Society Testing and Materials* (ASTM) norma C1386. Posteriormente, se presentarán los análisis

de precios unitarios a elaborar con la ayuda del programa LuloWin versión 2014, lo que dio como resultado los costos de fabricación del bloque celular, para finalmente, culminar realizando una comparación del ciclo de vida del bloque tradicional versus el bloque de concreto celular.

El propósito del proyecto es destacable y se basó en la implementación de nuevos productos y materiales de fabricación en la industria de la construcción, incidiendo en la evolución constante y desarrollo de tecnologías aplicables al ámbito civil, fomentando a su vez la sustentabilidad en la reducción de la explotación de suelos minerales en la fabricación de los materiales convencionales.

De este modo, el proyecto fue definido en función de obtener un prototipo que logre suplir a la mampostería tradicional, pero que cumpla de igual modo con las condiciones de carga requeridas, para lo cual se tiene como alcance la elaboración de los prototipos y diseños de mezcla que logren resultados satisfactorios en las pruebas que le serán aplicadas.

Asimismo, dicho proyecto se encuentra basado como un trabajo de investigación único en su aplicación en esta área del país, donde se selecciona el material constructivo de la mampostería como elemento en estudio y se decide la formulación de un nuevo diseño de mezcla que consiga iguales o mejores resultados que un diseño tradicional, innovando en la adición de nuevos ingredientes y promoviendo estructuras más livianas en conjunto.

Finalmente, destaca el impacto que la implementación del bloque celular puede tener en las construcciones de edificaciones, donde la reducción de las cargas muertas de la mampostería disminuiría considerablemente, lo que a su vez minoraría las dimensiones de elementos estructurales, disminuye

las cantidades de acero y acorta igualmente los tiempos de construcción, minimizando costes y aumentando la rentabilidad, trayendo consigo un gran valor y aporte para el desarrollo y crecimiento de una sociedad. Dicho esto, se infiere en el aporte a la comunidad estudiantil y a la Universidad de Oriente como casa matriz promotora de la investigación, considerando las alternativas de apoyo a otras investigaciones del área, y poniendo en alto el nombre de la UDO Extensión Cantaura con proyectos de gran importancia y beneficios como el presente.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer la fabricación de bloques de concreto celular, con equipos y aditivos de bajo costo, para ser utilizados en el Estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los elementos para la creación de un prototipo de bloque de concreto celular óptimo.
- Realizar un diseño de mezcla para la elaboración del bloque celular liviano, para ser usado en tabiquerías de construcciones civiles.
- Efectuar pruebas de compresión, absorción de agua, comportamiento térmico y frizado a los bloques de concreto celular obtenidos, según lo establecido por la *American Society Testing and Materials* (ASTM), norma ASTM-C1386.
- Presentar un análisis de precio unitario del bloque del concreto celular y compararlo con el costo de un bloque tradicional usando el programa comercial LuloWin versión 2014.
- Comparar, mediante un análisis de ciclo de vida, el bloque de concreto celular con el bloque tradicional.

1.3 Generalidades

1.3.1 Ubicación geográfica

La investigación se llevó a cabo en el territorio venezolano, en la Ciudad de Cantaura, capital del Municipio Pedro María Freites, en el estado Anzoátegui, como se muestra en la figura 1. La fabricación de los bloques de concreto celular para el establecimiento de un prototipo en específico, se realizaron en la Empresa Concretos Alexcar, C.A. “Armando soluciones constructivas”, así como las respectivas pruebas para la selección de la mezcla y los diferentes ensayos, en los cuales se contó con el apoyo del Ingeniero Jesús Salvador Álvarez. Dicha empresa posee todos los implementos necesarios para llevar a cabo las diversas pruebas, prestando especial cuidado en cumplir con los parámetros establecidos en las normativas correspondientes.

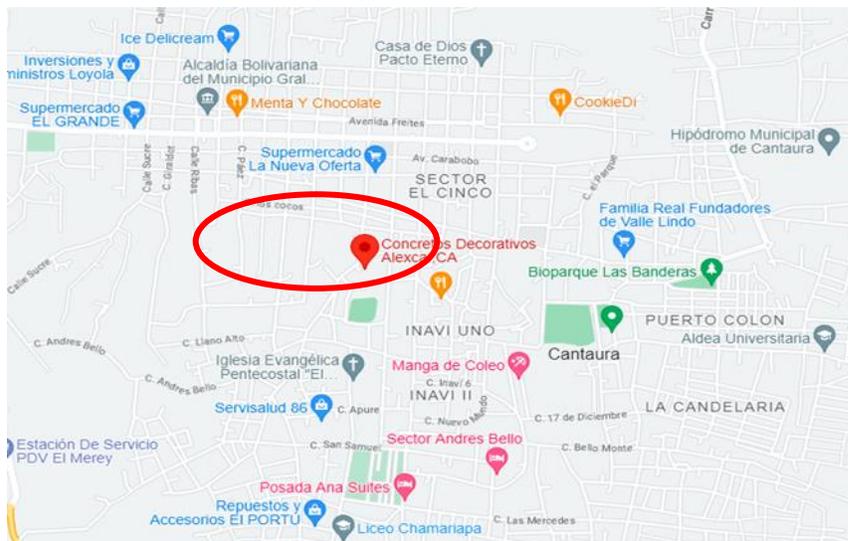


Figura 1. Ubicación de la empresa Alexcar C.A
Fuente: Google Maps, 2024.

1.3.2 Identificación de la empresa

La Empresa Concretos Alexcar, C.A. “Armando soluciones constructivas” es una empresa dedicada a la fabricación de prefabricados en concreto como columnas, balaústres, jardineras para ventanas, machones, pasamanos, pináculos, bancos entre otros destinados a satisfacer la demanda local, participando así de manera significativa en el desarrollo de la zona.

Con respecto a su proceso operativo, la empresa cuenta con las herramientas necesarias, que permitieron la elaboración del bloque de manera eficiente, así como de galpones que admiten el almacenaje adecuado de los materiales utilizados, y de un patio con suficiente área para alojar la cantidad de bloques producidos durante su secado.

1.4 Justificación

La elaboración de bloques de concreto celular conlleva una serie de ventajas fundamentales, las cuales se derivan de su composición y propiedades únicas. En primer lugar, estos bloques presentan una característica notable de peso ligero, lo que no solo simplifica su manipulación durante la construcción, sino que también disminuye la carga estructural en las edificaciones y proyectos en los que se emplean. Adicionalmente, la estructura porosa intrínseca de estos bloques confiere un excepcional aislamiento térmico y acústico. Esta cualidad resulta en una eficiente regulación de la temperatura interior y en una reducción de la transmisión de ruido, contribuyendo al confort habitacional.

No menos importante es su capacidad de resistencia al fuego, gracias a la combinación de baja conductividad térmica y su composición mineral. Esta propiedad otorga una mayor seguridad a las construcciones, permitiendo una respuesta más efectiva ante situaciones de riesgo. Además, los bloques de concreto celular se distinguen por su versatilidad, ya que pueden ser fácilmente adaptados a diversas formas y tamaños, posibilitando soluciones arquitectónicas creativas. Cabe resaltar también el enfoque en la sostenibilidad, dado que algunos de estos bloques incorporan materiales reciclados, reduciendo así la demanda de recursos naturales y minimizando el impacto ambiental.

Asimismo, en términos de durabilidad, estos bloques tienden a mantener su integridad a lo largo del tiempo, lo que contribuye a la longevidad de las construcciones en las que son utilizados. A su vez, su proceso de fabricación implica un menor consumo de energía en comparación con otros materiales de construcción, lo que está alineado con las metas de reducción de emisiones de carbono.

En este mismo orden, la elaboración de bloques de concreto celular no solo se traduce en ventajas técnicas como aislamiento y resistencia, sino que también promueve prácticas constructivas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este proyecto, estuvo orientado a proponer unidades constructivas de conveniente comportamiento, a través de ajustes de mezclas. Alternativa que, de ser factible en términos de calidad y economía; constituiría una solución constructiva al alcance de un numeroso grupo de personas, cuya demanda de materiales de construcción no puede ser abastecida por los altos costos de sistemas constructivos tradicionalmente utilizados hasta ahora

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Se realizó una búsqueda a nivel local, regional, nacional e internacional de información de trabajos de investigación anteriormente ejecutados, que tienen concordancia con el tema en estudio, sirviendo esto de soporte en la elaboración de esta investigación, así como también, el fundamento teórico sobre los principales enunciados que fundamentan el problema, por tanto, se describirán los trabajos con mayor similitud con el tema a tratar y el conjunto de conceptos relacionados.

2.1 Antecedentes de la Investigación

Triana y Roa (2021), desarrollaron un proyecto de grado para el diseño de una unidad de mampostería con la adición de materiales de reciclaje a la composición, para un diseño de mezcla óptimo para su empleo en la construcción de obras civiles. Su trabajo estuvo caracterizado por pretender encontrar la mejor relación calidad/resistencia/economía, en función de los materiales elegidos. Igualmente, ejecutaron diferentes ensayos de laboratorio a los prototipos elaborados, concluyendo que el plástico redujo considerablemente la resistencia a la mezcla según la Norma Técnica Colombiana (NTC) N°4205, los mejores resultados los obtuvieron con una mezcla de gránulos de caucho, plástico reciclado y arena, concluyendo que esos materiales poseen buenas propiedades para su empleo en la construcción. Sin embargo, no lograron la resistencia mínima requerida.

La investigación descrita fue de gran aporte para llevar a cabo la presente, principalmente observando los ensayos de laboratorio realizados por los investigadores y los resultados de ello, ya que se evidencia que, en función de días, 3 bloques cada 14 días y 3 bloques cada 28. Todo esto con una distribución de la dosificación de fibra sintética, (bloques de concreto celular convencional, bloques de concreto celular con fibra sintética al 0.20%, 0.30% y 0.60% en relación al peso del cemento). Logrando así el análisis, diseño y las dosificaciones obtenidas para la determinación de la dosis más apropiada, obteniendo que el bloque de concreto celular con fibra sintética al 0.30% era la más apropiada por los rangos de fluidez para una mayor trabajabilidad.

Dicho proyecto está relacionado de forma directa con el proceso de investigación, puesto que incluye la elaboración de un bloque de concreto celular y los diferentes ensayos de comprobación de resistencia del mismo. Además, incluye la determinación de la rentabilidad del bloque de concreto celular con fibra sintética en relación con un bloque de concreto celular convencional, obteniendo resultados favorables ya que el porcentaje del aumento de fibra sintética no varía mucho el precio en función a un bloque tradicional.

De igual modo, Lugo y Monroy (2020), diseñaron una mezcla para la fabricación de bloques para mampostería con la adición de vidrio molido como reemplazo de un porcentaje de los agregados finos. Lograron fabricar 32 prototipos, con diferentes diseños de mezcla y configuración de armado, los cuales sometieron a pruebas de compresión, humedad, absorción y resistencia, de forma experimental y teórica, a partir de los criterios de las NTC y la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10), pudiendo demostrar en ambos casos, resultados satisfactorios con un 10% de agregado de vidrio molido a la mezcla y un diseño denominado por ellos como B2C2M2. En

cuanto a la metodología, su investigación se basó en un modelo descriptivo para la elaboración del diseño de mezcla, experimental para los ensayos, y comparativo en cuanto a los resultados.

La investigación llevada a cabo por Lugo y Monroy guarda una estrecha relación con el proyecto que se desea realizar, por lo cual sirvió como un gran aporte de ideas y procedimientos, además de la clasificación realizada. Difiriendo en las normas y materiales empleados, mas, son similares en criterios y en ideas primordiales de alternativas de fabricación más sustentables.

Por su parte, Piñeros y Herrera (2018), emprendieron un proyecto para la fabricación de bloques con la adición de plástico reciclado. Los autores lo concibieron como una forma de atacar la contaminación ambiental del plástico, para lo cual, indagaron sobre los diseños de mezcla tradicionales y diferentes sistemas constructivos, para luego realizar ensayos de laboratorio y corroborar características físico-químicas de los bloques con polímeros añadidos. Los experimentos encontraron un nuevo diseño de mezcla con excelentes capacidades de resistencia cuando el porcentaje de polímeros se encontraba entre un 10% y 25%, resaltando que, al superar estos valores, las capacidades del bloque caían por debajo de los estándares requeridos. Por otra parte, los autores destacaron la reducción de masa del bloque en comparación de un bloque convencional, reduciéndose hasta un 35% menos.

El trabajo llevado a término por Piñeros y Herrera resultó ser de gran interés para comprender los porcentajes idóneos de adición de otros materiales a la mezcla para la fabricación de bloques, debido a que ellos lograron encontrar, mediante ensayos de laboratorio, los valores máximos de polímeros adicionados en función de los límites de resistencia establecidos por los criterios NTC, por lo que los análisis emprendidos por ellos y sus

metodologías, ayudaran con la solvencia de las vicisitudes a resolver en el presente proyecto.

En este mismo orden, Izquierdo y Ortega (2017), realizaron una tesis de grado, de tipo descriptiva, en relación al desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones. Por medio de la presente se pudo describir y analizar las características físicas y mecánicas del concreto celular con aditivo espumante MasterCell 10 a través de ensayos de laboratorio con el fin de conocer su comportamiento y plantear así una posible alternativa innovadora en la gama de materiales destinados a ser utilizados como tabiquería (bloques macizos prefabricados), verificando su competitividad económica en el mercado peruano.

En resumen, este proyecto, así como los mencionados anteriormente, sirvieron de soporte y ayuda, ya que, estuvieron basados en el estudio y elaboración de lo que concierne a la presente investigación. En este caso, Izquierdo y Ortega, a través de su estudio realizaron ensayos y planes de acción, que sirvieron como guía para ejecutar ciertos procedimientos en dicho proyecto.

2.2 Bases Teóricas Referenciales

2.2.1 Concreto celular

Según Chura (2014), se trata de un material de construcción muy liviano, formado principalmente por cemento, agua, agente espumante, aire comprimido y a veces otros añadidos fibrosos. Así mismo, la norma 523.2R del Instituto Americano del Concreto (ACI-523.2R) (1996), concibe el concreto

ligero como una mezcla en la cual se sustituyen todos los agregados por burbujas de espuma y aire. Para la presente investigación, fue de gran relevancia todo el conocimiento acerca del concreto celular, siendo imperante para la elaboración de la mezcla y fabricación de los bloques, así como la posibilidad de innovación en torno a la adición de materiales o cambios en el proceso productivo, que logren mejores propiedades.

2.2.2 Clasificación de concretos especiales

Los concretos especiales son aquellos que tienen propiedades no ordinarias o aquellos producidos por técnicas poco comunes. El concreto es, por definición, un material o compuesto, consistiendo básicamente en un medio aglomerante (aglutinante) y partículas de agregado, que puede tomar varias formas.

Los concretos ligeros se encuentran dentro de la familia de concretos especiales y se les caracteriza porque su densidad es igual o inferior a $2,000 \text{ kg/m}^3$. Aunque los procedimientos de producción de concretos especiales y concretos ordinarios son similares, las normas y consideraciones de diseño de los concretos ordinarios no pueden aplicarse, ya que las propiedades de los agregados ligeros utilizados se comportan de una manera muy distinta. Para su mejor comprensión, el concreto ligero de forma general se puede clasificar de dos formas: según el método de producción y según su aplicación.

2.2.2.1 Clasificación de los concretos según el método de producción

Existen tres métodos para producir concreto ligero: concreto sin finos, concretos con agregados de peso ligero y concreto celular, como se observa en la figura 2.

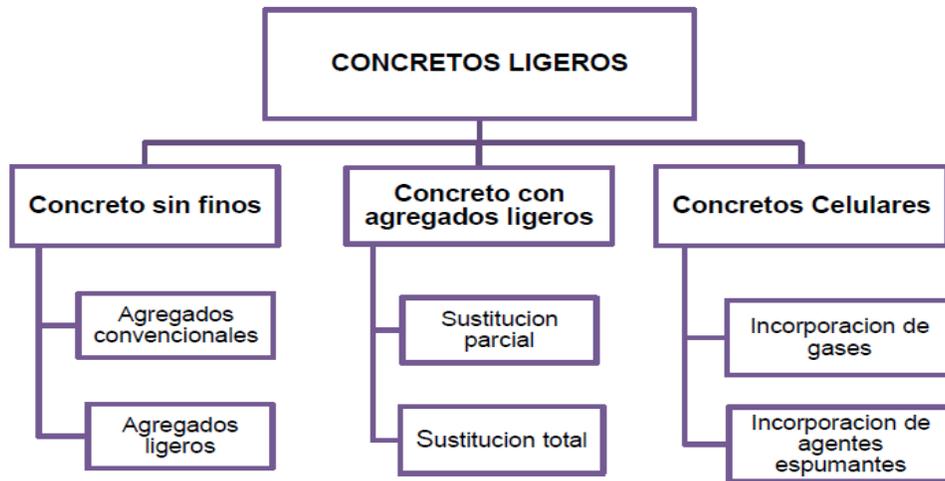


Figura 2. Clasificación de concretos ligeros

Fuente: NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnología del concreto. P. 339 (2018).

- **Concretos sin finos:** son logrados a través de la eliminación de elementos finos en su composición, mediante su sustitución por aire. En esta composición el agregado grueso queda envuelto entre pasta de cemento y la unión entre sus granos es de manera puntual. El peso volumétrico alcanzado es aproximadamente 70 % del concreto común. El uso de concretos sin finos solo es recomendable cuando el agregado grueso empleado es altamente resistente.
- **Concretos con agregados ligeros:** en este proceso se emplea agregado de peso ligero comúnmente poroso de baja densidad, en vez de utilizar agregado de peso normal, con una densidad relativa de aproximadamente 2,6 kg/m³. A diferencia del concreto sin finos, en este método se pueden utilizar tanto agregado grueso como fino, generalmente se prefiere para propósitos estructurales, donde su uso conduce a un costo menor de la estructura del que se podría esperar con el concreto de peso normal.

- **Concretos celulares:** su composición es a base de cemento, agua, gas o espuma preparada, no contiene agregados sólidos en alto porcentaje y generalmente está limitado en el rango de baja densidad. En su elaboración se mezclan primero el cemento, arena y agua, y posteriormente se añade un agente químico o un agente espumante, mezclándose hasta obtener una consistencia celular. Los concretos celulares se clasifican en dos tipos, según el método empleado en su elaboración, siendo estos: la incorporación de productos químicos en la mezcla que generan gas o introduciendo un agente espumante.

2.2.2.2 Clasificación de los concretos según su aplicación

Los concretos celulares también se pueden clasificar de acuerdo con los usos a que están destinados, los cuales generalmente son: para fines de aislamiento y como concreto estructural, este último comúnmente en piezas prefabricadas y concreto reforzado con acero. Se describen a continuación.

- **Aislamiento y similares:** los productos que se pueden hacer con el concreto celular son innumerables. Se utiliza principalmente para muros divisorios con fines de aislamiento térmico por su baja conductividad térmica y como protección contra el fuego, empleándose estructuralmente en forma de bloques o elementos prefabricados.
- **Concreto ligero estructural:** el concreto ligero estructural tiene una densidad de alrededor de 1120 a 1680 kg/m³ comparado con el concreto de peso normal, con una densidad entre 2240 y 2400 kg/m³. Para que un concreto ligero tenga aplicaciones estructurales, su resistencia a compresión debe

ser mayor que 176 kg/cm^2 a los 28 días y su peso no debe exceder los 1920 kg/m^3 .

En base a su material base de fabricación se tiene la siguiente clasificación, según se muestra en la figura 3.

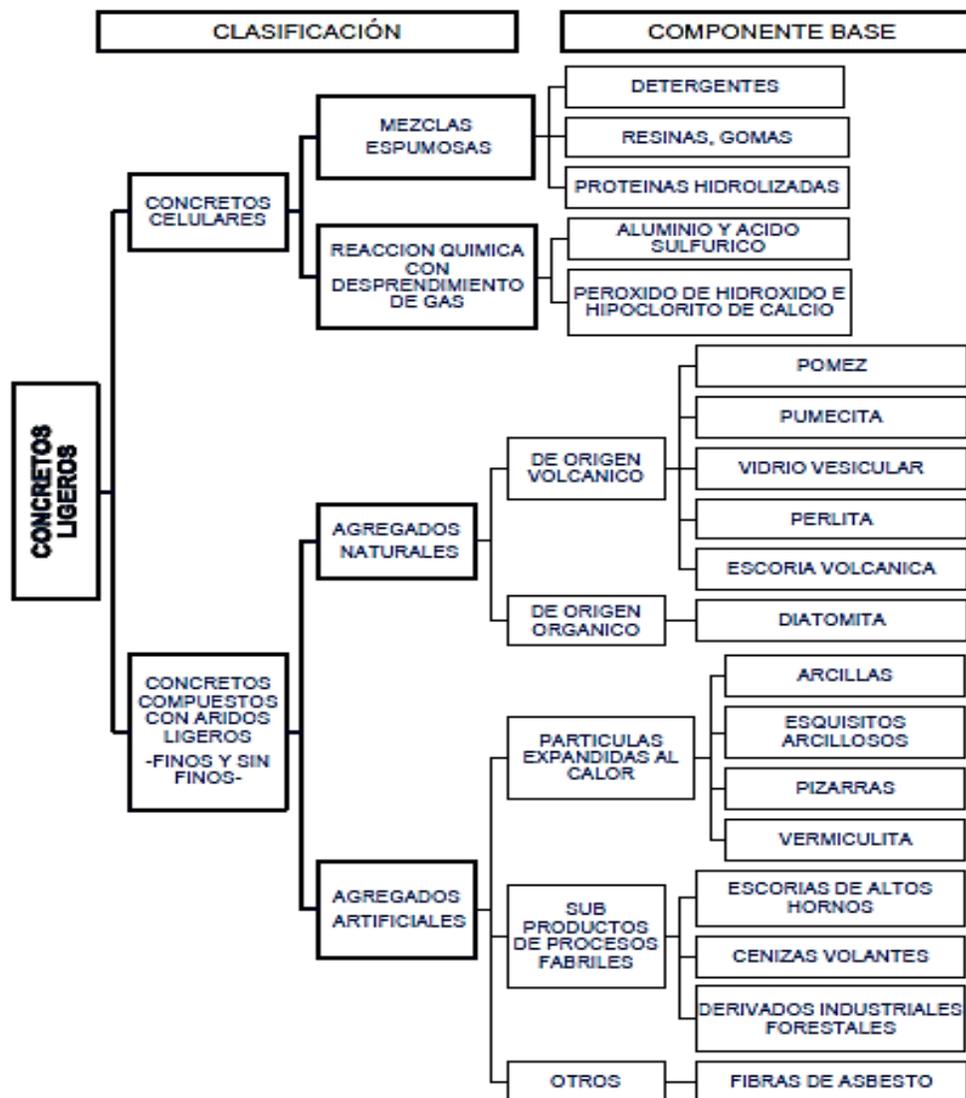


Figura 3. Componentes bases de los concretos especiales de acuerdo a su clasificación.

Fuente: Morales, Bernardo. Mezclas de concreto liviano con piedra pómez del valle de Guatemala (2018).

La resistencia del agregado ligero utilizado varía con el origen y tipo, no existe una relación fiable entre la resistencia del agregado y la resistencia del concreto. Todos los concretos tienen una resistencia máxima dependiente de las propiedades de los agregados, pero la calidad de la pasta de cemento ejerce una influencia importante sobre las propiedades del concreto. El costo unitario generalmente más elevado del concreto estructural ligero se compensa por la reducción de cargas muertas y menores costos de cimentación.

Dicho lo anterior, los métodos principalmente se basan en la experiencia y en el diseño de mezclas por tanteo de las proporciones. Los concretos ligeros tienen diferentes clasificaciones, de acuerdo con agregados y agentes adicionales, además por sus distintas formas de producirlo, por lo que se presenta la clasificación en función a su material base de fabricación, así como se muestra en la figura 3, página 39.

2.2.3 Fabricación del concreto celular

El concreto celular con aditivo espumante por su fabricación, se caracteriza por ser un tipo de concreto con un agente expansivo que incrementa su volumen mientras gana cualidades de trabajabilidad y pérdida de peso. Fue inventado durante la segunda década del siglo XX, pero su mayor crecimiento se vio luego de terminar la segunda guerra mundial, cuando fue comercializado por todo el continente europeo. Este tipo de concreto puede ser fabricado con aditivos espumantes a base de proteínas o agentes sintéticos dependiendo de cómo sean preparados, estos últimos fueron creados a principios del siglo actual dando como beneficio una mayor estabilidad de las burbujas en la espuma, excelente longevidad y durabilidad.

Sin embargo, existen diversas formas de preparar el concreto celular espumante pero la gran mayoría pueden ser resumidas en tres categorías:

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

Dicho lo anterior, según Alomoto y Mejillones (2022), los sistemas prefabricados a través del tiempo han presentado diferentes cambios para poder adaptarse a las necesidades y exigencias de cada momento. Existen varios métodos para la elaboración del hormigón celular, de acuerdo al procedimiento utilizado para la preparación, las células se pueden dividir en dos grandes grupos dependiendo de cómo se derive la mezcla, siendo esto por desprendimiento de gas o de espuma.

2.2.3.1 Método de fabricación de concreto celular por desprendimiento gaseoso

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

1. Incluir dos productos químicos que reaccionan entre sí en presencia del agua de mezclado y provocan un desprendimiento de gas. Entre estos se mencionan: Ácido clorhídrico y bicarbonato de sodio, con desprendimiento

de gas carbónico; cloruro de cal y agua oxigenada, con desprendimiento de oxígeno y; carburo de calcio y agua, con desprendimiento de acetileno.

2. Incluir a la mezcla de un producto químico capaz de reaccionar con el cemento en presencia del agua y causar un desprendimiento de gas. Entre estos se mencionan: polvos metálicos (calcio, aluminio, magnesio, zinc, bario, litio). Y sales (carbonatos, bicarbonatos).
3. Incluir a la mezcla de un producto capaz de causar un desprendimiento de gas por medio de la fermentación bajo el efecto del calor de hidratación del cemento tal como: levaduras orgánicas Y fermentaciones lácticas.

2.2.3.2 Método de fabricación de concreto celular a base de espuma

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

2.2.4 Tipos de concreto u hormigón celular

La empresa Becosan dedicada al hormigón pulido, afirma que existen varios tipos de hormigón celular, mencionados a continuación:

- Hormigón celular puro

Se utiliza cemento Portland, agua y espuma preparada o gas. No tiene agregados sólidos. En su fabricación, se mezclan primero el agua y el cemento y, posteriormente, se incorpora un agente químico o espuma, la cual tiene que estar bien mezclada para lograr conseguir una buena consistencia celular.

- Hormigón celular arenado

Es aquel que contiene cemento, agua, el agente escogido para desarrollar las burbujas y arenas con un diámetro máximo de 4 milímetros.

- Hormigón celular con agregados ligeros

Se realiza con piedra pómez, tezontle, entre otros, que reemplaza a la arena. Estos agregados deben ser muy resistentes, para incrementar la resistencia a la compresión.

- Hormigón celular con agregados expansivos

La adición de estos agregados ha demostrado que ayuda a retener el agua del curado del hormigón en climas cálidos. Son ideales también como elemento de protección de estructuras metálicas contra el fuego.

- Hormigón celular con aditivos dispersantes

Ayuda a exponer las partículas del cemento a la hidratación. La acción dispersante de los aditivos mejora la resistencia a la compresión y aumenta la fluidez, como consecuencia de la disminución de la proporción cemento/agua de la mezcla.

2.2.5 Propiedades del concreto celular

De acuerdo al Blog ARGOS (s.f), las propiedades que posee el concreto celular son las siguientes:

- **Reducción de peso (carga muerta):** al utilizar concreto celular en cualquier estructura se aprecian cargas muertas mucho más livianas, importante en áreas de alto riesgo sísmico. A la hora de un evento sísmico, los muros que puedan sufrir algún daño y precipitarse sobre las personas no causan daños físicos graves como el concreto convencional. La baja densidad del concreto celular determina el peso del material, por lo que la manejabilidad en transporte de material, acarreos, organización y colocación de paneles de mampostería, determinan el tiempo de ejecución de las obras.
- **Velocidad de construcción:** La ausencia de agregado grueso y el efecto de rodamiento producido por los poros proporcionan una buena consistencia al concreto celular. No es necesaria la vibración, pues, al momento del vaciado, el sistema de concreto celular se distribuye uniformemente y llena todos los espacios por completo con la misma densidad en el elemento colado, permitiendo de este modo que cualquier pared de una construcción pueda ser vaciada *in situ* y en una sola etapa, lo cual acelera considerablemente la velocidad de construcción.
- **Aislamiento térmico:** Puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión de calor. Una de las características más especiales que posee el concreto celular es el valor relativamente alto del aislamiento térmico, que se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material. La conductividad total de un concreto poroso es la

resultante de la conductividad térmica de la estructura de silicatos más la del aire contenido en ellos. Por esta razón, la conductividad térmica se relaciona con la densidad aparente.

- **Protección contra el fuego:** Los edificios se clasifican de acuerdo al carácter potencial de producción de calor que poseen sus materiales constitutivos y su contenido normal. El concreto celular es no combustible y gran parte de su resistencia a los efectos del fuego se atribuyen a la fuerte proporción de agua que contiene, la cual tiene que ser eliminada antes de que se presente algún tipo de falla.
- **Propiedades acústicas:** La efectividad de los muros sólidos para reducir el sonido transmitido es proporcional al peso del muro, es decir, entre más liviano sea un muro más aislamiento acústico proporciona, teniendo en cuenta la distribución uniforme de vacíos para poder aislar las frecuencias altas y bajas. Una de las ventajas del concreto celular es la absorción inherente que se proporciona en las cavidades, es decir, este tipo de concreto genera un efecto de colchón de absorción del sonido, lo que lo convierte en un atenuante oportuno del sonido que se utiliza en muros divisorios o de fachada.
- **Durabilidad:** El concreto celular se comporta de manera similar al concreto convencional, pero por el hecho de ser más poroso es más vulnerable a daños físicos. Al utilizarse por debajo del nivel natural del terreno deben contener un aditivo hidrófugo especial para evitar el daño por contacto con agua. El ataque químico del aire no es significativo, a excepción del que se produce en medios sumamente contaminados. De cualquier manera, se acostumbra proteger el concreto celular con estucos, principalmente.

Cuando el concreto celular ya ha sido instalado se debe tomar la misma precaución para la contracción por temperatura que en un concreto convencional.

Los daños mecánicos pueden resultar de la abrasión o impactos, pero pueden también provenir de una carga excesiva en miembros de flexión. Esto se reduce o se anula utilizando fibras de polipropileno especiales para concreto celular. Un aspecto de gran importancia es el uso de varillas con alto grado de corrosión, ya que esto podría ocasionar descascaramiento al concreto ligero.

2.2.6 Materiales para elaboración de un concreto celular

De acuerdo a lo establecido en la norma ASTM-C1386 algunas de las materias primas para la elaboración de un concreto celular se describen a continuación:

Cemento

Para la Real Academia Española (RAE) (2023), el cemento se trata de un conglomerante fino formado por la calcinación y mezcla de caliza y arcilla que posteriormente son molidas. Cabe destacar que en Venezuela existen diferentes tipos de cemento, fabricados según requerimientos constructivos, los cuales se clasifican, según la Corporación Socialista del Cemento (2018), antigua VENCEMOS, como se indica a continuación:

- Portland gris tipo I: es una mezcla de Clinker y yeso, finamente molida, de uso general en las construcciones que no requieren de propiedades y

características especiales de protección frente a factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

- Portland gris tipo II: es un cemento para usar en construcciones de concreto expuestas a la acción moderada de los sulfatos y cloruros, o cuando se requiere un calor de hidratación moderado.
- Portland gris compuesto tipo CPCA1: indicado para uso en construcciones generales de concreto y mortero, cuando se requieren características de durabilidad, plasticidad, adherencia y capacidad de retención de agua.
- Portland blanco tipo CPCA1: está específicamente fabricado para satisfacer las necesidades de autoconstrucción y para obras de mampostería que requieran elementos arquitectónicos u ornamentales de color blanco, posee iguales propiedades estructurales al portland gris tipo CPCA1, difiriendo de éste únicamente en su color.
- Petrolero clase B tipo MSR-HSR: para uso en la cementación de pozos petroleros y de gas, que requieren de resistencia a sulfatos moderada, pues su formulación permite obtener un cemento con moderada resistencia al ataque de los sulfatos, es decir, un contenido de C3A menor del 8%.
- Petrolero clase G tipo HSR: para uso en la cementación de pozos petroleros y de gas, disponible en grado de alta resistencia a los sulfatos, su composición físico-química lo hace altamente resistente a los sulfatos (HSR), es decir, un contenido de C3A menor del 3%.
- Petrolero clase H tipo MSR-HSR: para uso en la cementación de pozos petroleros y de gas, disponible en grado de alta y moderada resistencia a los sulfatos. con una adición de sulfato de calcio (yeso) y agua; difiere de la clase B y G por su consistencia, la cual permite un bombeo a grandes profundidades antes de que se presente el fraguado, aun bajo condiciones extremas de temperatura y presión presentes en el subsuelo terrestre.

Agua

El agua es el agente hidratante de las partículas del cemento, produciendo que este desarrolle sus propiedades aglutinantes. Al combinar el cemento y el agua se produce una pasta cuya consistencia está directamente relacionada a la cantidad de cemento existente. Al endurecer la pasta, por consecuencia del fraguado, parte del agua permanece en la estructura y otra parte de ésta se evapora debido al calor producido por esta reacción química. El agua usada para fabricación de concreto celular debe ser potable y libre de cantidades perjudiciales de ácidos, alcalinos, sales, aceites y otros materiales orgánicos. El agua no potable se puede usar si la muestra prueba no produce alteraciones en las propiedades físicas y mecánicas necesarias.

Aditivos

- **Generadores de espuma:** el agente espumógeno activo al ser batido forma burbujas de aire que son retenidas dando origen a la espuma; los agentes más conocidos son: emulsiones de jabón neutro y albumina; derivados de ácido naftaleno (sulfónico y como estabilizador de la espuma el silicato de sodio a 38 °C), jabones de resina y silicato sódico, proteínas hidrolizadas, detergentes, etc. Estos deben cumplir las especificaciones descritas en la norma ASTM C 796 *Foaming agents for use in producing cellular concrete using preformed foam*.
- **Reductores de agua:** los aditivos reductores de agua se usan para disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un concreto con un revenimiento específico, reduciendo así la relación agua/cemento y aumentando la trabajabilidad a normal o alta. Los aditivos

reductores de agua de alto rango se pueden usar para conferir al concreto las mismas propiedades obtenidas por los aditivos reductores de agua normales, pero con mayor eficiencia.

- **Inclusión de agentes espumosos:** los procesos de formación de espuma usados en la fabricación de concretos celulares tienen por finalidad la incorporación de aire, además los agentes utilizados en concreto a gas estructurales se pueden usar como agentes de formación de espuma. El término espuma implica contenidos relativamente altos de aire. Se han utilizado regularmente los siguientes tipos de agentes espumantes:
 - A. Detergentes y agentes humectantes
 - B. Resina jabón y cola animal o vegetal
 - C. Saponina
 - D. Resina neutralizada y proteína hidrolizada

El agente espumante se añade a la mezcla después de todos los otros ingredientes (incluyendo un acelerador y/o fluidificante) el mezclador puede ser operado a 80 o 90 rpm durante el período final que suele tener una duración de 2 o 3 min. La consistencia después de la mezcla puede ser la de una crema espesa pero vertible. Los moldes se llenan generalmente a rebosar para compensar algún hundimiento debido al sangrado de agua a través de las partes inferiores de los moldes.

Áridos

La arena, es uno de los materiales que más se ha utilizado en la construcción, pues ha estado presente en todas las etapas de la civilización.

La arena se conoce como un material cuyas partículas de tamaño varían entre 0,063 y 2 milímetros. Se emplea en las mezclas de hormigón según la exigencia de uso: por ejemplo, S1, S2, S3, P1 y C2; donde S es la resistencia a los sulfatos, P es la permeabilidad y C es la resistencia a la corrosión. Según Rocha Álvarez, Pérez, & Villanueva (2020). La granulometría de las arenas se clasifica en arenas gruesas, medias y finas. Las gruesas son aquellas que pasan por el tamiz N°4, pero son retenidas por el tamiz N°8; las arenas medias pasan por el tamiz N°8 y son retenidos por tamiz N°30; las arenas finas pasan por el tamiz N°30, pero son retenidas por el tamiz N°50.

Agregados

Son materiales inertes, generalmente obtenidos de arenas naturales o depósitos de grava, que poseen resistencia propia y son utilizados dentro de la mezcla de concreto. Son rodeados por la pasta de cemento de forma que en estado endurecido proporcionen resistencia mecánica y controlen el cambio volumétrico que normalmente tiene lugar al momento del fraguado del cemento, así como variaciones en el contenido de humedad de la mezcla. Estos materiales son clasificados en agregado grueso y agregado fino. Con un tamaño de 4,76 mm a 0,075 mm para el fino o arena y de 4,76 en adelante para el grueso. Por lo general el agregado grueso se subdivide en rangos de 4,76 mm a 19 mm para gravilla y de 19 mm a 51 mm para la grava. La selección del agregado está en función a la estructura que se desea realizar.

2.2.7 Fases de producción del concreto celular

Para López (2003), las fases importantes que deben considerarse para un proceso de producción del concreto celular son las siguientes:

- La preparación, dosificación y mezcla de las materias primas (arena, cal, cemento y agua). Las proporciones aproximadas son: por 200 kg de arena, 90 kg de cemento, 40 kg de cal, 15 kg de yeso y 0,5 kg de óxido de aluminio.
- La preparación de los moldes.
- El corte de los bloques y de las geometrías especiales.
- El curado en autoclave a 180 °C a 10/11 atmósferas durante 10 a 12 horas.
- La paletización y el embalaje.
- La producción del material en autoclave consiste en imitar el proceso de formación natural de la estructura molecular de la tobermorita.

Igualmente, el autor prosigue exponiendo diversas bondades, siendo destacable que el proceso productivo descrito favorece el trabajo de las plantas en ciclo cerrado; afirmando que no expulsan ninguna sustancia capaz de contaminar el agua o los suelos. También, expresa que los desechos producidos durante esa fase son muy pocos e inertes, y son reutilizables en un 90%, siendo el vapor de agua el único gas arrojado a la atmósfera.

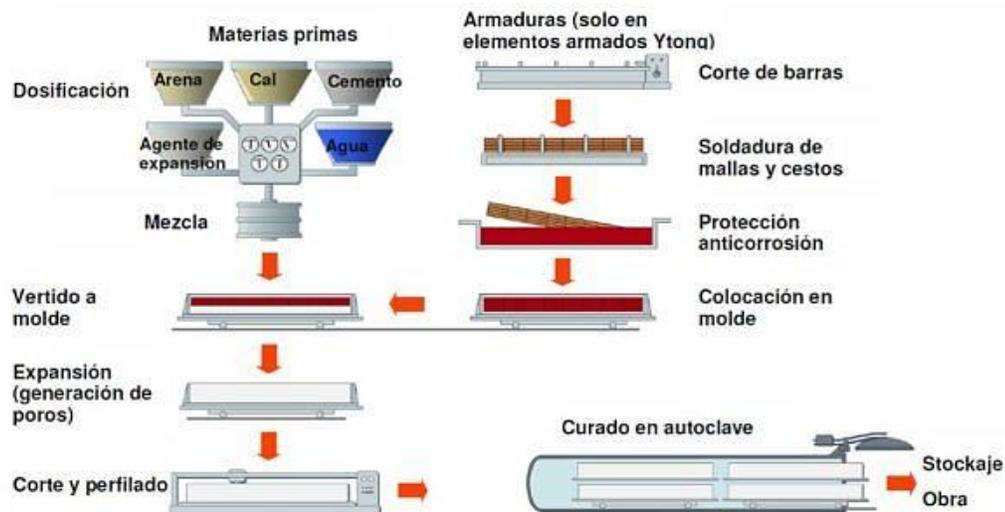


Figura 4. Producción del concreto celular.
Fuente: Blog Josman (s.f)

2.2.8 Características de un concreto celular

De acuerdo a los estudios realizados por Yoc (2018), en su tesis de grado, asegura que sus principales características son:

2.2.8.1 Características físicas

- **Densidad**

La densidad queda determinada por el volumen alcanzado a partir del proceso de aireación; con base en los agregados a usar se presenta una relación de agua/cemento que es mayor a medida que la proporción de arena aumenta. Cuando esta relación es baja se produce insuficiencia de aireación y en el caso de que sea muy alta se produce una ruptura de vacíos, generando una microestructura expandida. La densidad influye de manera directa en las propiedades del concreto celular, los rangos de densidad con que es producido oscilan entre 800-1800 kg/m³ en estado seco.

Para lograr un entendimiento de la dimensión de las características que posee el concreto celular, se tomarán como base comparativa las siguientes características del concreto convencional:

- Densidad entre 2200 kg/m³ y 2500 kg/m³, con un promedio de 2400 kg/m³.
- Resistencia a compresión entre 100 kg/cm² y 500 kg/cm², resistencia a tracción despreciable.
- Módulo de elasticidad variante dependiendo de la resistencia a la compresión y su densidad. De acuerdo al ACI, para un concreto

convencional de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, el módulo sería de $217\,000 \text{ kg/cm}^2$ aproximadamente.

- Conductividad Térmica de $1.64 \text{ W}/(^{\circ}\text{K}\cdot\text{m})$ para un concreto convencional con densidad de 2400 kg/m^3 .

2.2.8.2 Características mecánicas

- **Resistencia a la compresión ($f'c$):**

Se encuentra directamente relacionada a la densidad que se logre obtener en el diseño de mezcla. Así, para concretos celulares que no contienen agregados finos en su composición la resistencia a la compresión no supera los 55 kg/cm^2 , mientras que los concretos celulares que sí adicionan finos en su mezcla pueden lograr resistencias similares a las de un concreto convencional. En la figura 5 se presentan las dosificaciones realizadas por Celular Concrete LLC utilizando la combinación de agregado y cemento y presentando las características en función de su densidad húmeda y seca.

Tabla 1. Densidad y resistencia a la compresión

Densidad húmeda		Densidad Seca		Resistencia a compresión			
lb/ft ³	kg/m ³	lb/ft ³	kg/m ³	lb/plg ²		kg/cm ²	
90	1443.58	85	1363.38	400	500	28.18	35.23
95	1523.78	90	1443.58	750	1000	52.84	70.45
100	1603.98	95	1523.78	1000	1500	70.45	105.68
105	1684.18	100	1603.98	1500	2000	105.68	140.91
110	1764.38	105	1684.18	2000	2500	140.91	176.14
115	1844.58	110	1764.38	2500	3000	176.14	211.36
120	1924.78	115	1844.58	3000	3500	211.36	246.59
125	2004.97	120	1924.78	3500	4000	246.59	281.82

Fuente: Mearlcrete Division. Cellular concrete LLC 2005. 18 p, (2018).

- **Módulo de elasticidad (E):**

Es una medida de la deformación del material bajo condiciones de carga de corta duración en el rango elástico. Para densidades entre 500 kg/m³ y 1300 kg/m³, el módulo de elasticidad varía entre 40 000 kg/cm² y 60 000 kg/cm².

2.2.8.3 Características acústicas

Debido a su densidad reducida, el concreto celular también mejora la atenuación del sonido, presenta sus ventajas acústicas en base al coeficiente de transmisión de sonido en el aire, y la pérdida de transmisión, sin embargo, su propiedad de aislamiento acústica es relativamente baja. Así pues, resulta efectivo por la pérdida de transmisión, dada por los sistemas de poros encontrados en su microestructura.

2.2.8.4 Características funcionales

- **Absorción de agua y capilaridad**

Por su naturaleza, el concreto celular presenta una interacción constante, por dentro de su sistema poroso, entre agua en estado líquido y vapor de agua. En estado seco los poros se encuentran vacíos y la difusión de vapor predomina. La absorción de agua en ambos casos es tan variable que dificulta determinar cómo interactúan los parámetros de contenido de agua y transporte de humedad por capilaridad que se producen en el material ya conformado.

- **Resistencia al fuego**

Su naturaleza mineral y producción a partir de minerales inorgánicos, junto a los bajos coeficientes de conductividad térmica, garantizan un desempeño al menos dos veces superior al concreto convencional ante la resistencia al fuego.

- **Trabajabilidad**

El concreto celular, especialmente sin agregado grueso, es bombeable y fácilmente trabajable, por lo que facilita la elaboración de prefabricados como paneles de losa para entrepiso, donde la presión del concreto en estado húmedo es relativamente baja.

2.2.9 Generador de espuma para concreto celular

Elías (2012), expresa que se trata de un equipo, que, utilizando un agente espumante, agua y aire comprimido, produce espuma de densidad variable de acuerdo a la mezcla entre sus componentes. En general, la densidad que debe poseer la espuma para obtener una consistencia cremosa y fluida oscila los 75 gr/L. El autor continúa mencionando diversas características importantes que el generador de espuma debe garantizar en todo momento, las cuales son:

- La estabilidad y homogeneidad de la espuma para evitar fisuras en la mezcla fraguada.
- La máquina debe poseer una estructura reducida y manipulable para permitir un fácil transporte y ubicación en obra.

- Alta capacidad productiva, pues de la velocidad de producción depende la buena calidad de la mezcla final, mencionando un mínimo de 500 L/min de espuma, pues el tiempo de batido en la mezcladora debe ser breve para no comprometer la estructura de las microcélulas de aire que sufrirán una posterior compresión durante el proceso de bombeo.

2.2.10 Aditivo espumante para concretos celulares

Panesar (2013), explica que el papel de los agentes de formación de espuma consiste en crear pequeñas burbujas de aire mediante la reducción de la tensión superficial de una solución y el aumento de la estabilidad de las burbujas de aire. Más adelante, afirma que es este agente espumante lo que marca la diferencia del mortero celular respecto al convencional, proporcionándole ligereza y aportando propiedades termo acústicas y de fuego. El agente espumante también se le llama agente incorporador de aire.

Del trabajo realizado por Gelim y Ali (2011), se sabe que cuando los agentes espumantes son incorporados en el agua de la mezcla, este va a producir cavidades de burbujas discretas que se incorporan en la pasta de cemento. Es, por ende, que las propiedades del hormigón espumado dependen principalmente de la calidad de la espuma y la dosis de la misma.

Finalmente, cabe destacar las particularidades en torno al añadido espumante a la mezcla para la fabricación de elementos prefabricados, pues tal como se vio en líneas anteriores, resulta significativo que dicho agente posea las características ideales y cantidades justas para una mezcla óptima, siendo sumamente relevante la comprensión de las propiedades en torno al agente para las primeras etapas del proyecto a realizar.

2.2.11 Tipos de agente espumante

Tal como se ha visto, el agente espumante es un ingrediente fundamental para la fabricación del mortero celular, y resulta imperante el estudio acerca de ello para el desarrollo de la presente investigación. En general, hay dos tipos de agentes espumantes. Panesar (2013).

- **Sintético:** El cual es adecuado para densidades de 1.000 kg/m³ superiores o iguales.
- **Proteína:** Adecuada para densidades de 400 kg/m³ a 1.800 kg/m³.

El autor afirma que, para la espuma sintética, la interacción de repulsión entre las capas adsorbidas ofrece una película fina y una espuma estable, mientras que, para la espuma de proteína el mecanismo para la estabilización está relacionada con el confinamiento de los agregados dentro de las películas delgadas, atrapado allí cuando las burbujas entran en contacto.

2.2.12 Tabiquerías de construcción civil donde se puede emplear el bloque de concreto celular

El bloque de concreto celular es un material versátil que se puede utilizar en diversos tipos de tabiquerías de construcción civil como:

Paredes divisorias interiores: Los bloques de concreto celular son ideales para crear muros divisorios dentro de edificios residenciales o comerciales.

Paredes exteriores: Pueden utilizarse para construir muros exteriores debido a su aislamiento térmico y acústico, así como su resistencia a la intemperie.

Tabiques de fachada: En la construcción de fachadas ventiladas o revestimientos, los bloques de concreto celular pueden servir como una capa aislante.

Paredes de sótanos: Debido a su capacidad para resistir la humedad, estos bloques son una opción adecuada para la construcción de muros en sótanos.

Paredes cortafuego: El concreto celular tiene propiedades de resistencia al fuego, por lo que se puede usar en la construcción de paredes cortafuego en edificios comerciales e industriales.

Paredes de insonorización: Dada su capacidad de aislamiento acústico, los bloques de concreto celular son ideales para crear paredes que reduzcan el ruido en estudios de grabación, teatros u otros espacios sensibles al sonido.

La gama completa de productos de concreto celular se compone de bloques, tabiques, dinteles, forjados y cubiertas, y responde a todas las necesidades de obra de una edificación (ídem). Además, el hormigón celular es ideal para la construcción de contrapisos livianos, terrazas (gracias a sus excelentes propiedades de aislación térmica y acústica), rellenos, losas de base para pavimentación y paneles premoldeados para paredes de viviendas, y usos varios según las necesidades y las características del material.

Es importante tener en cuenta que la elección del tipo de tabiquería dependerá de los requisitos específicos de cada proyecto, incluyendo consideraciones de aislamiento térmico, acústico, resistencia estructural y

otros factores. Además, es fundamental cumplir con las regulaciones locales y las normativas de construcción al utilizar este material.

2.2.13 Ventajas y desventajas del concreto celular

Villagómez, (2016) & Retamal, Rougier & Escalante, (2020) señalan que el concreto celular posee muchas más ventajas que desventajas, sin embargo, como en todos los casos, hay factores que deben considerarse, a continuación, se muestran en la tabla 2, algunas de las principales ventajas y desventajas del mismo.

Tabla 2. Ventajas y Desventajas del concreto u hormigón celular

Ventajas	Desventajas
Gran durabilidad, ya que no son degradables y permanecen inalterables en el tiempo bajo todo tipo de condiciones climáticas, siendo los climas extremos donde destacan las mejores propiedades del material.	Experimenta mayor contracción por fragüé, es más frágil, y su módulo de elasticidad es más bajo, para las resistencias mecánicas equivalentes.
Tiene altos niveles de aislación térmica y en combinación con la baja utilización de cemento y agregados, dando como resultado un material ambientalmente sustentable, siendo este aspecto de interés social y económico cada vez mayor.	Excesivo cuidado en la secuencia de producción debido a que cualquier alteración puede resultar en una mezcla irregular que no posee las características requeridas.
Impermeabilidad, debido a que en su estructura molecular alberga miles de micro celdas, que no permiten que las moléculas de agua penetren en su interior, impidiendo que la humedad se transmita mediante capilaridad o impregnación, como sucede en los sistemas tradicionales.	Es más vulnerable a agentes químicos debido a que este posee mayor porosidad.

Continuación de tabla 2. Ventajas y Desventajas del concreto u hormigón celular

Ventajas	Desventajas
Rapidez de construcción debido a su ligero peso y las dimensiones del bloque, siendo de fácil manipulación y no requiere nivelar y aplomar cada hilada, reduciendo el tiempo de ejecución en aproximadamente 30%.	Tiene limitado su uso estructural

Fuente: Autores (2024)

2.2.14 Impacto del concreto celular en el medio ambiente

El concreto celular constituye efectivamente un gran aporte. Al ser un efectivo material aislante, permite reducir drásticamente el consumo de combustibles fósiles. Tanto al calefaccionar una vivienda, como al enfriarla, ayudando a preservar el medio ambiente. El mismo es un producto inerte y no contaminante con un proceso industrial que no genera ningún tipo de residuo. Se puede decir que es un hormigón sustentable y ecológico por su gran estabilidad en el tiempo y las externalidades positivas en el uso eficiente de la energía en las construcciones con este material.

2.3 Definición de términos básicos

COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales): Es el organismo encargado de programar y coordinar las actividades de normalización y calidad en Venezuela. Para llevar a cabo el trabajo de elaboración de normas, la COVENIN, constituye comités y comisiones técnicas de normalización, donde participan comisiones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con un área específica. (Catálogo de Normas Venezolanas COVENIN, 2001).

ASTM (*American Society for Testing and Materials*): Es una de las organizaciones internacionales de estándares más grande del mundo. Dichos estándares abarcan áreas como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, productos de consumo, servicios médicos, dispositivos y productos electrónicos, entre otros. (Catálogo ASTM Internacional, 2010).

ACI (*American Concrete Institute*): Es una organización sin ánimos de lucro de los estados unidos de américa, que desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencias al hormigón reforzado. (Catálogo de Normas ACI, 2016).

Materiales de construcción: Son aquellos que surgen del proceso de transformación de las materias primas y que luego son combinados con otros para crear un nuevo material que será empleado en la construcción de edificios u obras de ingeniería civil de pequeña y gran envergadura (Rodríguez, 2016).

Tabiques: Son muros delgados sin cargas que se utilizan como paredes o divisiones internas (Fernández, 2004).

Aditivo Producto que se adiciona en pequeñas proporciones al concreto durante el mezclado, con el propósito de producir una modificación a sus propiedades originales tanto en estado fresco y/o endurecido. (Yoc, 2018)

Agregado Material inorgánico natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados según normativos. Está embebido en la pasta y ocupa aproximadamente un 75 % del volumen del concreto. (Yoc, 2018)

Compresión Fuerza que se ejerce sobre un elemento reduciendo su tamaño o volumen. (Yoc, 2018)

Encofrado Sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al concreto u otros materiales similares. (Yoc, 2018)

Trabajabilidad Es la propiedad del concreto y mortero fresco que determina sus características de trabajo, es decir la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado. (Yoc, 2018)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el desarrollo de todo proyecto de investigación existe la necesidad de ubicarlo bajo una metodología de trabajo, ya que depende del tipo y diseño de investigación el adecuado término de los objetivos planteados, la recolección de variables, obtención de resultados y sólidas fuentes para futuras investigaciones. Es por ello que en el presente capítulo se desglosa el aspecto metodológico de esta investigación.

3.1 Tipo de la Investigación

En el caso de la investigación, basada en la propuesta de elaborar un prototipo de bloques de concreto celular, se clasifica en una metodología de tipo descriptiva para el caso de la caracterización y diseño de mezcla relacionado con la fabricación. Según Arias (2012), una investigación descriptiva es aquella donde se realiza una caracterización, puede ser de un acontecimiento, fenómeno, sujeto o grupo, para poder determinar su estructuración y comportamiento.

3.2 Nivel de la Investigación

La propuesta planteada abordó un nivel de investigación experimental, de acuerdo a Arias (2015), es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos en determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se hace

que se producen (variable dependiente). En este caso el enfoque se hace en base a la fabricación de bloques de concreto celular con equipos y aditivos de bajo costo como alternativa innovadora en el campo de la construcción de edificaciones, mediante un estudio cuantitativo, que permita representar gráficamente los resultados obtenidos.

Ahora bien, se tiene que además aborda un nivel de investigación de campo, ya que según los autores Palella y Martins (2010), el proyecto de campo es ese donde la recolección de datos se realiza directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. (pág.9). En este sentido, al realizar estudios y ensayos de laboratorio, han sido recabados distintos datos aportados por los instrumentos de medición y las pruebas “*in situ*”.

3.3 Técnicas de la investigación a utilizar

3.3.1 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos, son aquellas maneras en las que se recolectan y se transmiten los datos para complementar el trabajo de investigación. En tal sentido, Arias (2006) indica que las técnicas se refieren al “procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (pág.67). En base a esto, en el presente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

3.3.1.1 Observación directa

Según Arias (2006), “la observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho,

fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (pág.69). Lo que quiere decir, que, mediante esa técnica, en la presente investigación se identificó cada uno de los elementos efectivos para la elaboración de la máquina generadora de espuma. También, una vez que se logró encontrar la mezcla óptima a través de observar cual funcionaba mejor, se comprobó o se verificó que el bloque cumpliera las pruebas establecidas en la norma ASTM-1386.

Asimismo, la técnica consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular. Todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto. De lo contrario, los datos que se obtengan no van a ser válidos. Para el caso de las diferentes pruebas a realizar a los prototipos de bloques, como lo son las pruebas de compresión o frisado, y a lo largo de otros procesos en la investigación, se usará esta técnica de investigación, considerando su fundamental principio de percepción de un hecho específico ante un suceso determinado, aplicado al objetivo sometido a estudio.

3.3.1.2 Entrevistas no estructuradas

Según Arias (2006), en esta modalidad “no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos, lo que permite definir el tema de la entrevista” (pág.74). Es decir, se basa en una conversación entre el entrevistador y el entrevistado realizada para obtener la información requerida. En tal sentido, se recabó información en forma verbal con trabajadores de ciertas bloqueras para determinar los materiales utilizados para elaborar bloques. Igualmente, es importante conocer la opinión de técnicos y empleados con experiencia en la

elaboración de elementos prefabricados. Por otro lado, se busca la estimación de los tiempos de ejecución de las actividades a ejecutar mediante consultas a expertos de la ingeniería.

3.3.1.3 Revisión documental

En el proceso investigativo fueron tomadas en cuenta las fuentes de parámetros técnicos referentes al ámbito de la construcción, reconociendo lo establecido por las normas venezolanas de normalización industrial COVENIN, normas del Instituto Americano del Concreto ACI, normas de la *American Society Testing and Materials* (ASTM), así como diversas fuentes de internet y proyectos antecedentes relacionados con la fabricación de bloques con aditivos.

3.4 Instrumentos a utilizar

Según Arias (2006), un instrumento de recolección de datos “es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (pàg.68). En tal sentido, los instrumentos utilizados para la recolección de datos en la presente investigación fueron los siguientes:

- Cuaderno o libreta de anotaciones: se empleó para anotar todas las observaciones hechas en campo, durante las pruebas, con la finalidad de conseguir un registro detallado de cada prueba en los bloques y durante los procesos de fabricación. Finalmente, las anotaciones hechas fueron útiles durante el desarrollo de la investigación.
- Fotos y videos: Las fotos y videos permitieron tener un seguimiento de los procesos realizados para la elaboración del bloque de concreto celular.

Contempla los elementos de la máquina elaborada para generar espuma, los diferentes ensayos realizados, resultados finales, entre otros. Sirviendo esto como prueba para la documentación fotográfica en la presente investigación.

3.5 Herramientas y equipos a utilizar

- Computadora HP: Para la redacción digital y búsqueda bibliográfica de la presente investigación se utilizó dicho computador portátil, marca HP.
- Teléfono inteligente: Utilizado para documentar todo el proceso de elaboración de los bloques de concreto celular y ensayos, entre otras documentaciones fotográficas, en el cual se empleó un teléfono inteligente de última gama, marca Apple.
- Dispositivo de almacenamiento flash (pendrive): Se utilizó para tener un respaldo de la información captada, de fotos y videos, así como también para el resguardo de libros, normas y proyectos recopilados relacionados con el tema de pegamentos para anclajes de acero estructural.
- Impresora Epson: Se utilizó para la impresión del proyecto realizado.
- Herramientas de anotación: lápiz, regla, bolígrafo, hojas, calculadora.

3.6 Técnicas de análisis y procesamiento de datos

3.6.1 Análisis Cualitativo

Según Sabino (2003) “Se refiere al que procedemos a hacer con la información de tipo verbal que, de un modo general se ha recogido.” (pág.134). A fin de desarrollar el estudio, se utilizó este tipo de análisis para el tratamiento de la información obtenida una vez aplicada las entrevistas no estructuradas.

3.6.2 Análisis Cuantitativo

Según Sabino (2003) “Este tipo de operación se efectúa, naturalmente, con toda la información numérica resultante de la investigación.” (pág.134). Es decir, los resultados obtenidos en los ensayos y los arrojados por el Software Lulowin control de obras, se presentaron como un conjunto de cuadros y gráficas a las cuales se les calcularon sus porcentajes con su debida interpretación.

3.8 Flujograma de la metodología y su descripción

De acuerdo a los objetivos planteados y el propósito principal, la metodología utilizada comprende: estudios preliminares, trabajo de campo y trabajo de oficina, cada actividad con sus respectivas acciones que en conjunto conducen a la terminación de la investigación. Todas estas actividades se pueden observar en la figura 5, en la siguiente página.

3.8.1 Descripción del flujograma de la metodología

3.8.1.1 Recopilación de información

Se realizó la búsqueda de información mediante la revisión bibliográfica de libros, manuales, blogs, paginas técnicas en internet y normas, lo que llevó a conocer y comprender los fundamentos teóricos de la presente investigación; así como la identificación de los diferentes elementos, métodos de elaboración propiedades y funcionamiento a todo lo relacionado con el tema en curso. En este sentido, se procedió a realizar una lectura inicial, y luego a seleccionar, clasificar y analizar los datos que permitieron sustentar los principios en los que se enfocó la investigación.

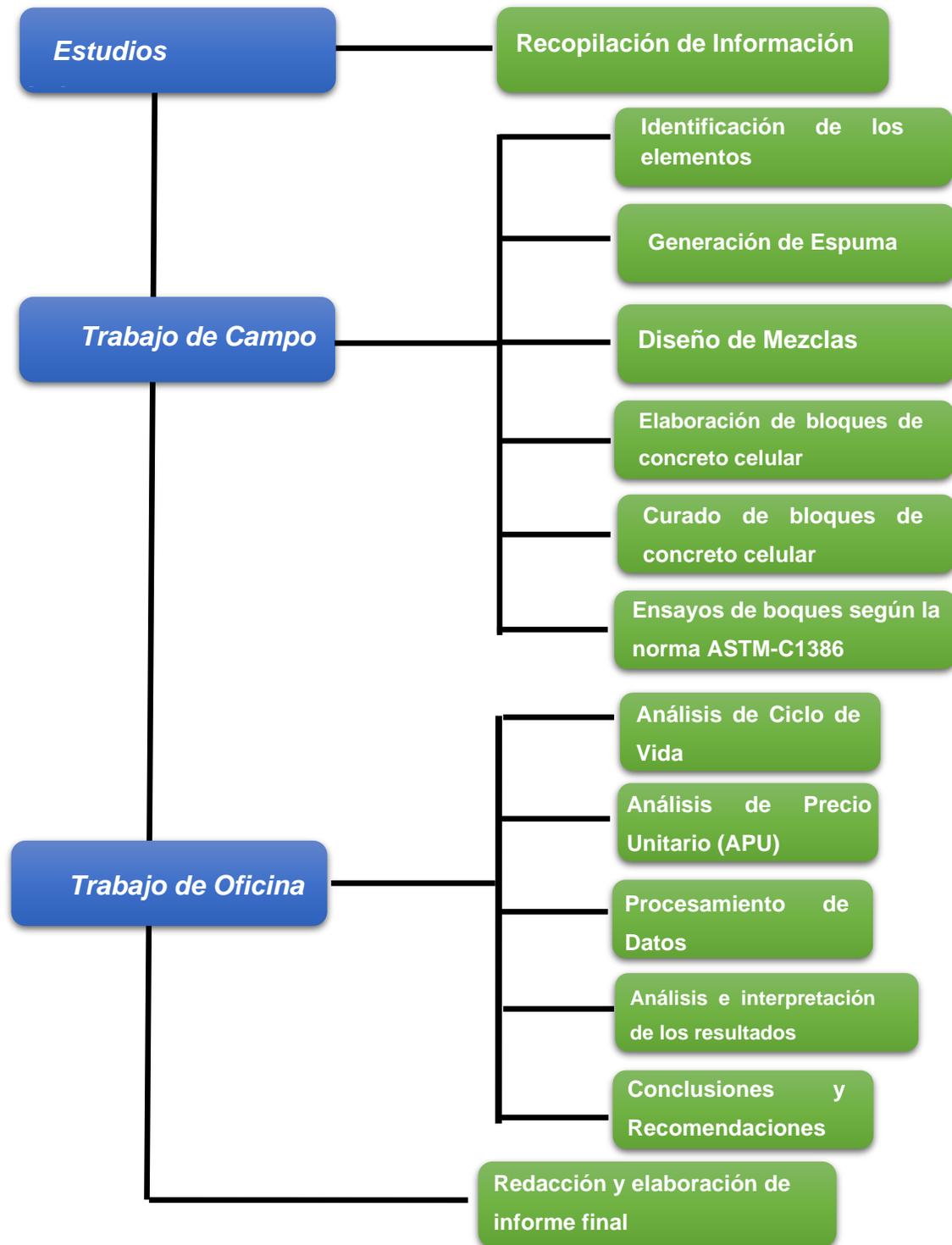


Figura 6. Flujograma de la Investigación
Fuente: Autores (2024)

Por otra parte, mediante la observación directa de la elaboración de los bloques de concreto celular, se pudo establecer una metodología detallada de los procesos productivos. Se pudo constatar las condiciones bajo las cuales se fabrican los bloques y las condiciones a las cuales este puede ser sometido; así como también, el almacenamiento adecuado de la materia prima, el personal obrero necesario, el curado y costo de los mismos, al igual que, las características de las máquinas y herramientas utilizadas. En cuanto al laboratorio se pudo observar que se contaba con los equipos necesarios para realizar los ensayos.

3.8.1.2 Identificación de los elementos

Luego de obtener la información necesaria, se identificaron los elementos necesarios para la elaboración del concreto celular, seleccionando dentro de estos como material base, el cemento, la espuma y el agua. Puesto que, existen otros elementos que hacen posible la mezcla para elaborar dicho concreto. De este modo, para el caso de la presente investigación fue necesario seleccionar una serie de materiales estudiados, los cuales cumplieran con la función de que, al ser combinados, proporcionaran una buena reacción para la propuesta de elaboración del bloque de concreto celular. Siendo el factor más relevante la elaboración de la espuma, la cual es uno de los elementos más significativos dentro del proceso de fabricación.

3.8.1.3 Generación de espuma

Dicho lo anterior, la espuma como elemento es uno de los más importantes ya que esta genera burbujas de aire estables en la mezcla, lo que resulta una estructura porosa y ligera una vez que el concreto se endurece. Asimismo, la presencia de la espuma tiene efectos beneficiosos como la

reducción de peso, aislamiento térmico y acústico, mayor volumen sin carga estructural y menor conductividad térmica. Por lo tanto, para la producción de la misma fue necesario la elaboración de una máquina, la cual constó de los siguientes materiales. (Ver figura 7)

- 1 compresor de aire
- 4 metros de manguera con un diámetro de 5/16
- 1 Tee de cobre 5/16
- picos o tomas de cobre 5/16
- 1 envase de gas con capacidad de 1kg
- 7 abrazaderas 5/16
- ½ metro de tubo PVC con un diámetro de 1”
- 1 tapón de PVC con un diámetro de 1”
- Esponjas de alambre
- Tornillos tira fondo



Figura 7. Máquina generadora de Espuma
Fuente: Autores (2024).

Esta máquina fue utilizada para elaborar las diferentes espumas con los diversos jabones, verificando así, cual funcionaba mejor a la hora de la elaboración del bloque de concreto celular. Para su funcionamiento, en el envase de gas con capacidad de 1 kg, se vacía 1 litro de jabón, el cual se diluye y genera espuma mediante el compresor de aire conectado, dicha espuma puede ser observada de acuerdo a su consistencia, y se mezcla con los elementos bases para evaluar su comportamiento a la hora de elaborar el concreto celular.

A pesar de funcionar bien, el contenido de la bombona con capacidad de 1kg no era suficiente para vaciar completamente la espuma en el encofrado para los bloques, por lo que se optó como segunda opción, una bombona de gas con capacidad de 13 kg, capaz de almacenar mayor cantidad de aire y poder producir más mezcla. (Ver figura 8)



**Figura 8. Bombona de gas con capacidad de 48 kg usada en la maquina generadora de espuma.
Fuente: Autores (2024)**

3.8.1.4 Diseño de mezclas

En el diseño de las mezclas se utilizaron diferentes jabones, buscando encontrar así la espuma adecuada, proporcionando la mezcla óptima con el

agua y el cemento para la elaboración del concreto celular. Algunos de los jabones utilizados fueron: El jabón azul para bebe, jabón las llaves, lavaplatos oso blanco, entre otros, que se pueden generalmente encontrar en los supermercados. A su vez, se probaron los artesanales o realizados comúnmente en casa, sin embargo, es importante destacar que estos no producen la suficiente espuma por lo tanto su densidad es baja. La cantidad de espuma que produce un jabón casero puede variar debido a factores como los tipos de aceites utilizados en la fórmula, la proporción de aceite, la presencia de aditivos naturales y el tiempo de curado.

Toda espuma es la mezcla de un líquido y un gas. La del jabón, una disolución de un éster de ácidos grasos (por ejemplo, de un aceite) y un álcali (normalmente sosa caustica) mezclado con el aire atmosférico. Los jabones contienen sustancias polares formadas a través de una sosa (o potasa) y Grasas o aceites de diversos orígenes (naturales, animales, plantas o sintéticos). Como si se tratara de una batería con polos positivo y negativo, una molécula de jabón también tiene dos extremos de diferente afinidad. (Ver figura 9 y 10).

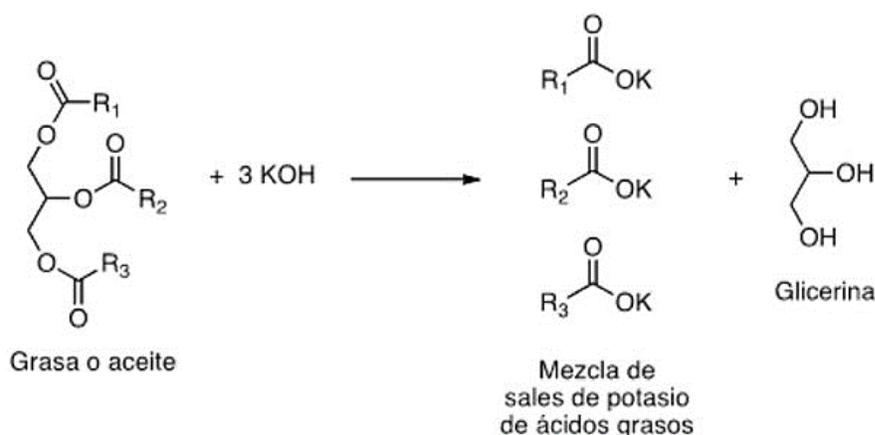


Figura 9. Reacción para la formación de un jabón.
Fuente: Alonso (2020).

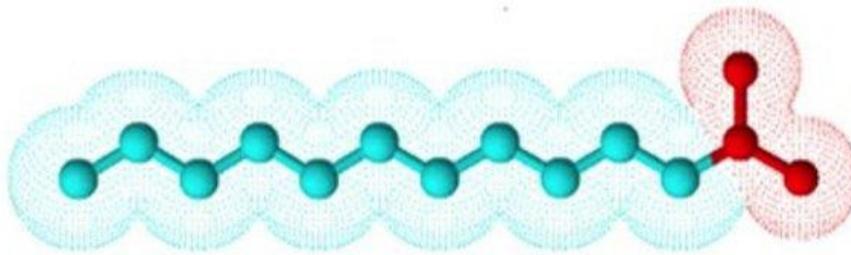


Figura 10. Molécula de un jabón.
Fuente: Alonso (2020).

La figura anterior representa una molécula de jabón. Se observa en color rojo a la cabeza, con carga, la cual es afín al agua porque son de polaridad similar. La cadena azul, denominada lipofílica, es afín a las grasas y repele al agua. A causa de esta estructura, el jabón posee una doble afinidad hacia la polaridad de otras moléculas y puede orientarse según el medio donde se encuentre.

Cada uno de estos fue probado, siendo colocados en la máquina generadora de espuma, seleccionando la espuma más estable, para ser mezclados en un tobo con cemento y agua como elementos base del concreto celular y evaluar así su comportamiento; además de ello, se colocaron otros materiales como arena y agregados hasta encontrar la mezcla óptima final para conseguir un buen bloque, el cual cumpliera con cada una de las propiedades correspondientes y resistiera cada una de las pruebas establecidas por la Norma ASTM-C1386, tomando en cuenta las mezclas con mejores resultados, donde se tomó en consideración características como las buenas posibilidades de ser moldeados, buen acabado y apariencia de los bloques.

3.8.1.5 Elaboración de bloques de concreto celular

Para la fabricación de los bloques se procedió siguiendo los pasos que se describen a continuación:

Mezclado de la materia prima: Se realiza el mezclado del agua y el cemento, añadiendo la espuma generada con la máquina elaborada al colocarle el jabón correspondiente, todo esto con la finalidad de obtener un concreto celular como propuesta para la elaboración de bloques que pueden ser aplicados en tabiquerías de construcción civil.

Moldeado de la mezcla: Luego del proceso anterior se depositó la mezcla con la consistencia deseada, en un encofrado de 15 cm de ancho, 20 cm de alto y 50 cm de largo, vaciando la mezcla óptima encontrada en el molde cada vez que se necesitaba. Con los moldes ya llenos se procedió con la compactación del mismo.

Desmoldado de los bloques: Para el desmoldado de los bloques, se elevará el molde y se retirara de manera cuidadosa para que los bloques no se dañen y queden depositados en la superficie del patio de secado, donde se colocaran finalmente para el curado de estos. Es importante resaltar que el desmoldado es un procedimiento más fácil debido a que los bloques son de peso ligero.

Fraguado de las unidades producidas: El fraguado de los bloques, se produce en la superficie patio de la empresa, inmediatamente después de ser moldeados y desmoldados cuidadosamente. Cabe destacar que el proceso de fraguado de este tipo de bloques es similar al de los bloques

convencionales de concreto, es decir, para su curado correspondiente se debe esperar 28 días.

Una vez fabricados los bloques, éstos deben permanecer en un lugar que les garantice protección del sol y de los vientos, con la finalidad de que puedan fraguar de forma correcta. El periodo para el endurecimiento del bloque debe ser de 2 a 4 horas, pero se recomienda dejar los bloques de un día para otro. Si los bloques se dejarán expuestos al sol o a vientos fuertes se ocasionaría una pérdida rápida del agua de la mezcla, o sea un secado prematuro, que reducirá la resistencia final de los bloques y provocará fisuramiento del concreto. Luego de ese tiempo, los bloques pueden ser retirados y ser colocados en rumas para su curado.

3.8.1.6 Curado de bloques de concreto celular

Los bloques producidos se dejan secar en el patio de la empresa Alexcar C.A donde se realiza la producción, estos alcanzan una dureza o secado a una semana de haberlos vaciado, pero como se mencionó anteriormente, su fraguado se asemeja al bloque de concreto convencional, el cual es de 28 días aproximadamente.

El curado de los bloques consiste en mantener los bloques húmedos para permitir que continúe la reacción química del cemento, con el fin de obtener una buena calidad y resistencia especificada. Por esto es necesario curar los bloques como cualquier otro producto de concreto. Los bloques se deben colocar en rumas de máximo cuatro unidades y dejando una separación horizontal entre ellas de dos centímetros, como mínimo, para que se puedan humedecer totalmente por todos los lados y se permitan la circulación de aire.

De igual modo, para curar los bloques se debe regar periódicamente con agua durante siete días. Se humedecen los bloques al menos tres veces al día o lo necesario para que no se comiencen a secar en los bordes. Se les puede cubrir con plásticos, papeles o costales húmedos para evitar que se evapore fácilmente el agua.

La zona de almacenamiento debe ser totalmente cubierta para que los bloques no se humedezcan con lluvia antes de los 28 días, que es su período de endurecimiento. Si no se dispone de una cubierta o techo, se debe proteger con plástico. Aunque los bloques fabricados siguiendo todas las recomendaciones, presentan una buena resistencia, se debe tener cuidado en su manejo y transporte. Los bloques no se deben tirar, sino que deben ser manipulados y colocados de una manera organizada, sin afectar su forma final.

3.8.1.7 Ensayos de bloques según la norma ASTM-C1386

- **Ensayo de resistencia a compresión de los bloques**

Los ensayos de compresión se llevan a cabo para caracterizar el comportamiento de un material bajo una carga de compresión. Durante el ensayo, se ejerce una presión sobre una probeta a través de los platos de compresión o útiles especiales, instalados en una máquina de ensayos de materiales universal, para determinar las diferentes propiedades del material. Los datos del ensayo proporcionan resultados en forma de diagrama de tensión-deformación que, entre otras cosas, muestra el límite de elasticidad, el límite de proporcionalidad, el límite elástico y, en algunos casos, la resistencia a la compresión. (Ver figura 11).

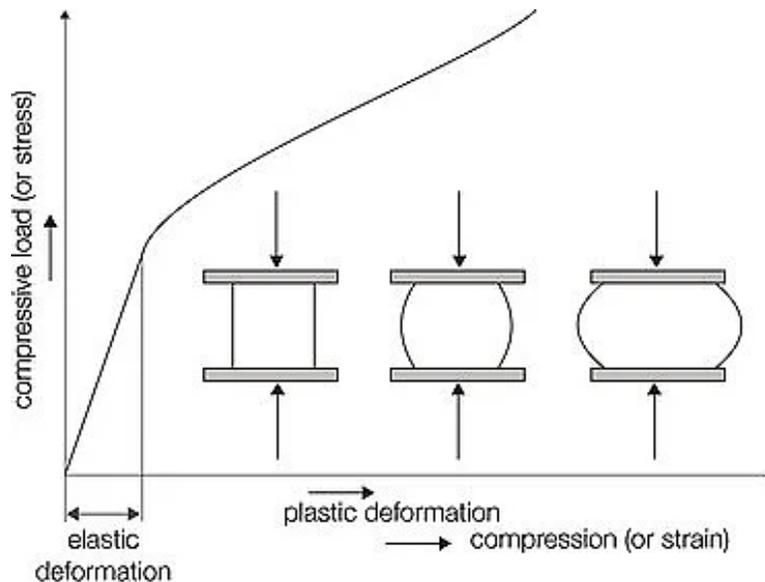


Figura 11. Gráfica del comportamiento de prueba de compresión
Fuente: ZwickRoell (s.f)

Procedimiento: Se colocaron los bloques en la máquina de ensayo, esta debe tener la suficiente capacidad para producir las rupturas de estos, la carga se aplica en la misma dirección en que las cargas a los pesos propios actúan sobre los bloques en la construcción. Luego, se hace coincidir el centro de la superficie esférica de la rótula con el centro del plato de carga que se va a poner en contacto con la muestra ensayada, para así de esta manera, ser aplicada la carga a cualquier velocidad hasta la mitad de la carga máxima supuesta, el resto de la carga debe aplicarse gradualmente y a una velocidad constante, de acuerdo a la carga máxima soportada.

Duración de la prueba: Para esta prueba no se requiere establecer una duración determinada, ya que el tiempo no es un factor que afecte directamente los resultados obtenidos en el ensayo y no es determinante para la interpretación de los mismos. Por lo tanto, la duración depende del investigador.

Modo de medición: Se obtuvieron los datos de laboratorio para medir la resistencia a la compresión de los bloques ensayados, que corresponden a: peso seco (g), medidas de ancho, largo y alto (cm) y lectura de carga de ruptura de las muestras sometidos a ensayos.

- **Ensayo de absorción de agua de los bloques**

Procedimiento: Consiste en sumergir los bloques dentro de un recipiente de agua profundo a una temperatura de 20°C aproximadamente y evaluar el comportamiento de los mismos por varios días, verificando si eran realmente resistentes a una cantidad de agua considerable. Una vez saturadas las muestras, se sacan del recipiente y se secan con toallas absorbentes de tela, para ser pesadas de inmediato

Duración de la prueba: Los bloques se sumergen por completo en el agua durante 5 días aproximadamente. Sucesivamente de ser saturados, estos se sacan para ser secados con las toallas y luego pesados, y así de esta manera, evaluar el comportamiento y su peso antes de ser sumergido y después de haber sido probado.

Modo de medición: Los datos que se tomaron para medir el porcentaje de absorción de agua en los bloques fueron, el peso húmedo y el peso seco expresados en gramos (g).

La absorción de agua del bloque, expresada como un porcentaje del peso seco se calculó para cada muestra mediante la ecuación 1:

$$A = \frac{P2 - P1}{P1} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

A= Absorción de agua [%]

P1= Peso seco de cada muestra [g]

P2= Peso de la muestra después de 24 horas sumergida [g]

El valor del coeficiente de absorción (A) de los bloques se calcula promediando los valores de las muestras de ensayo

- **Ensayo de comportamiento térmico**

Los cambios bruscos de temperatura pueden causar grietas y desprendimientos debido al choque térmico, la expansión de los aditivos también puede producir daños dentro del concreto. Estas también afectan la resistencia a la compresión del concreto. Por ello, es importante el ensayo del comportamiento térmico en referencia al concreto celular elaborado, puesto que, este está diseñado para bloques de tabiquerías en construcciones civiles que pueden colocarse en interiores o exteriores y es necesario conocer su reacción a ciertos niveles de temperatura.

Procedimiento: el ensayo consiste básicamente en someter el bloque de concreto celular al calor de una llama o mechero de gas en ambos lados del bloque y luego medir su temperatura con un termómetro digital, para observar su comportamiento a lo largo del ensayo y determinar su resistencia al fuego.

Duración de la prueba: El bloque se someterá a la prueba de resistencia al fuego y transmisión térmica durante el lapso de una hora (60

minutos) o hasta que la cara no expuesta al fuego presente fisuras u orificios como consecuencia de la exposición continuada de la llama.

Modo de medición: La medición se realiza en ambos lados del panel, tanto en la cara expuesta como en la no expuesta al fuego, mediante termómetros adherido antes de realizar el ensayo.

- **Ensayo de frisado**

Procedimiento: Para aplicar el frisado a estos bloques se debe verificar que la superficie este limpia, suficientemente rugosa y libre de compuestos bituminosos u otros materiales perjudiciales, los cuales serán eliminados mediante limpieza rigurosa, toda superficie a revestir debe ser humedecida. Todo esto con el fin de obtener una superficie lisa con mejor estética, acabado optimo y brindar una protección extra.

Duración de la prueba: El frisado se dejará endurecer por un periodo de 24 horas y se humedecerá sin saturarlo para proceder a enlucir (friso liso).

3.8.1.8 Análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida incluye la estimación y evaluación del impacto ambiental de la producción del concreto celular. El ACV considera toda la historia del producto o actividad a estudiar, empezando desde su origen hasta que termina siendo un residuo. Todo ello, mediante la definición de los objetivos y el alcance del estudio. Dicho análisis se realizará para ser comparado con el bloque de concreto tradicional y su impacto en el ambiente.

3.8.1.9 Análisis de precio unitario

En esta etapa se utilizó el software LuloWin para llevar a cabo el análisis de precio unitario (APU) correspondiente a la elaboración de los bloques propuestos para tabiquerías de construcción civil, para así de esta manera ser comparados con los precios de los bloques comunes existentes en el mercado local, con sus respectivos cálculos métricos, los cuales son necesarios para definir las cantidades de materiales indicados en las planillas de APU, de forma que también se pueda demostrar el bajo costo que vale producir dichos bloques.

3.8.1.10 Análisis e interpretación de los resultados

Una vez realizadas todas las pruebas y ensayos de la presente investigación experimental, se procedió al procesamiento de los datos, el cual dio lugar al establecimiento fijo de los elementos y la mezcla óptima de elaboración del bloque de concreto celular, incluyendo sus propiedades, características, condiciones de temperatura, resistencia y usos de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM-C1386. Así como también, se dieron a conocer los intentos fallidos en relación a la elaboración del concreto celular, optando por seleccionar el que tuvo mayor firmeza, dureza y cumplió con las características de soportar cada una de las pruebas realizadas.

3.8.1.11 Conclusiones y recomendaciones

Una vez realizado el análisis e interpretación de los resultados, se establecieron conclusiones convenientes con los resultados obtenidos para

cada objetivo planteado de la presente investigación. En este mismo sentido se establecieron recomendaciones que sustentan la misma.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Luego de obtener la cantidad de datos necesarios a través de pruebas y ensayos realizados, se procedió a darle significado a los mismos, es decir, los resultados, fueron obtenidos, interpretados y analizados para dar cumplimiento a los objetivos planteados en esta investigación. Este paso es concluyente, debido a que, permite conocer mediante hechos demostrables la funcionalidad del bloque de concreto celular en las tabiquerías de una construcción civil.

4.1 Identificación de los elementos para la creación de un prototipo de bloque de concreto celular óptimo.

La identificación de los elementos se realizó en función de una investigación exhaustiva de la información en cuanto al proceso de elaboración del concreto celular. Es importante resaltar que dicho concreto se realiza comúnmente a base de cemento, agua, espumante y en ciertos casos también por arena y agregados. Actualmente, el costo del proceso de elaboración y el uso de espumantes que se encuentran en el mercado resulta altamente costoso, por lo que, el propósito de este proyecto fue encontrar una metodología y unos elementos óptimos para la fabricación del mismo.

Como se mencionó anteriormente, el espumante es un factor clave en la preparación de concreto celular, por tanto, para realizarlo fue necesario la fabricación de la espuma como elemento principal, en el cual se realizó una máquina capaz de generarla, descrita en el capítulo III, la cual se utilizó para

los diferentes ensayos hasta lograr encontrar una espuma que realmente funcionara con la mezcla en general.

Por ello, en esta primera etapa se dan a conocer los componentes que se usaron para la elaboración del concreto celular con el propósito de fabricar un prototipo de bloques óptimos de este tipo de concreto, describiendo las propiedades de los materiales utilizados y evaluando el comportamiento a través de ensayos preliminares en los cuales unos funcionaron y otros no. Puesto que, existen muchas formas de fabricar dicho concreto celular, pero este proyecto se hizo con la finalidad y enfoque de la investigación, el cual era realizarlo con equipos y aditivos de bajo costo. A continuación, en la siguiente tabla se describen los materiales y sus propiedades. (Ver tabla 3)

Tabla 3. Descripción de los elementos usados para la fabricación del concreto celular.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Cemento Portland Tipo I	Es una sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso, capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con agua y que se endurece espontáneamente en contacto con el aire. El cemento portland tipo I, para usos generales, es el que más se emplea para usos estructurales cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para los otros tipos de cemento. En este estudio se usó cemento Portland tipo I, de la (CSC) corporación socialista del cemento, empresa del estado.
Agua	Elemento diluyente, proveniente del acueducto de la población de Cantaura, la cual nos proveyó la empresa Alexcar, C.A.
Arena	La arena o árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de las mismas, y cuyo tamaño es inferior a los 5mm. En decir, es la agrupación o conjunto de partículas de rocas silíceas que se con frecuencia se suelen acumular en la costa.

Continuación Tabla 3. Descripción de los elementos usados para la fabricación del concreto celular.

Jabón	Un jabón es una sustancia con dos partes, una de ellas llamada lipófila (o hidrófoba), se une a las gotitas de grasa y la otra, denominada hidrófila, se une al agua. De esta manera se consigue disolver la grasa en agua. Este es un agente limpiador o detergente que se fabrica utilizando grasas vegetales y animales y aceites. En este estudio se utilizaron diferentes jabones artesanales y procesados de forma líquida o sólida.
-------	--

Fuente: Autores (2024)

Los elementos descritos fueron utilizados como elementos principales para los ensayos de fabricación del concreto celular, arrojando algunos resultados positivos. Como se observó en la tabla, se utilizaron diferentes jabones porque era necesario encontrar la espuma adecuada que funcionara correctamente hasta encontrar el diseño de mezcla para la elaboración del bloque celular liviano. A continuación, como segunda parte de esta primera etapa, se muestra en la tabla 4, las primeras pruebas realizadas para la identificación del factor espumante.

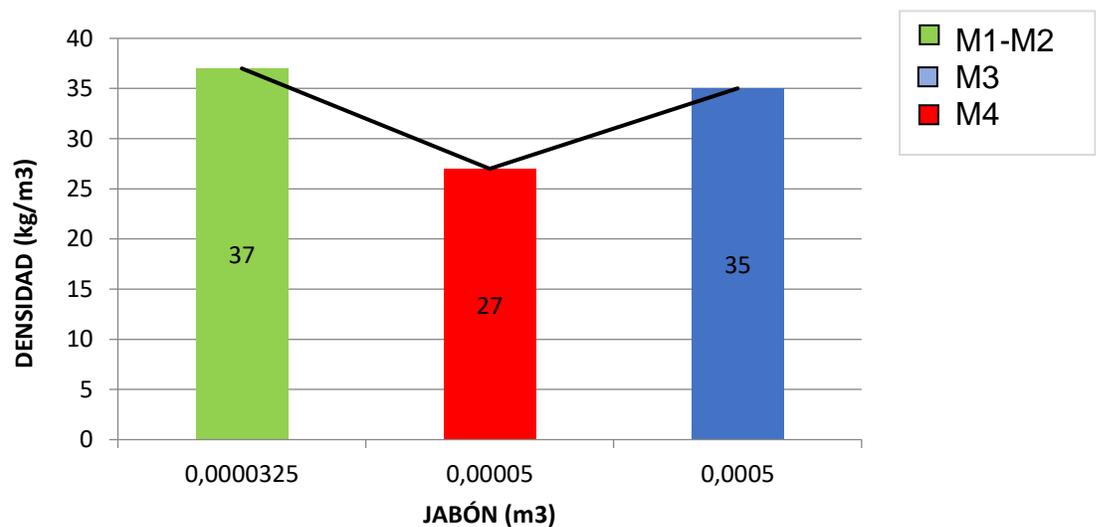
Tabla 4. Nomenclatura y composición de las mezclas para la fabricación de la espuma

Nomenclatura	Tipo de espumante	Composición (m ³)	Densidad (kg/m ³)
M1	Jabón líquido artesanal amarillo	3.25 x 10 ⁻⁵ m ³ de jabón 5x10 ⁻⁶ m ³ de glicerina	37 kg/m ³
M2	Jabón líquido Artesanal amarillo	5x10 ⁻³ m ³ de jabón 5x10 ⁻³ m ³ de agua 1x10 ⁻⁵ m ³ de glicerina	35 kg/m ³
M3	Jabón líquido artesanal verde	32.5 m ³ de jabón 5x10 ⁻³ m ³ de agua 5x10 ⁻⁶ m ³ de glicerina	37 kg/m ³
M4	Jabón líquido artesanal verde	5x10 ⁻⁵ m ³ de jabón 5x10 ⁻³ m ³ de agua 1x10 ⁻⁵ m ³ de glicerina	27 kg/m ³

Fuente: Autores (2024)

Las mezclas mencionadas anteriormente forman parte de este primer objetivo como ensayos preliminares para la identificación de los elementos, en este caso el factor espumante, determinando su nomenclatura, composición y densidad a través de los diferentes jabones utilizados. Siendo fundamental resaltar que esto forma parte de un primer grupo de mezclas, las cuales luego fueron probadas para encontrar la espuma óptima y luego ser mezclada con otros materiales para encontrar la mezcla ideal que formara el prototipo de bloque de concreto celular.

En medio de estas pruebas también se ensayó utilizando champú, pero esta mezcla no produjo espuma, por lo que terminó siendo completamente líquida y se descartó. A continuación, se muestra el comportamiento de las mezclas en relación a sus densidades (kg/m^3). En la cual se observa que la mayor densidad la tuvo la mezcla M1 y M3 con $37 \text{ kg}/\text{m}^3$ (Ver gráfica 1)



Gráfica 1. Comportamiento de los primeros tipos de espumantes en relación a las densidades obtenidas.

Fuente: Autores (2024)

4.2 Realización de un diseño de mezcla para la elaboración del bloque celular liviano, para ser usado en tabiquerías de construcciones civiles.

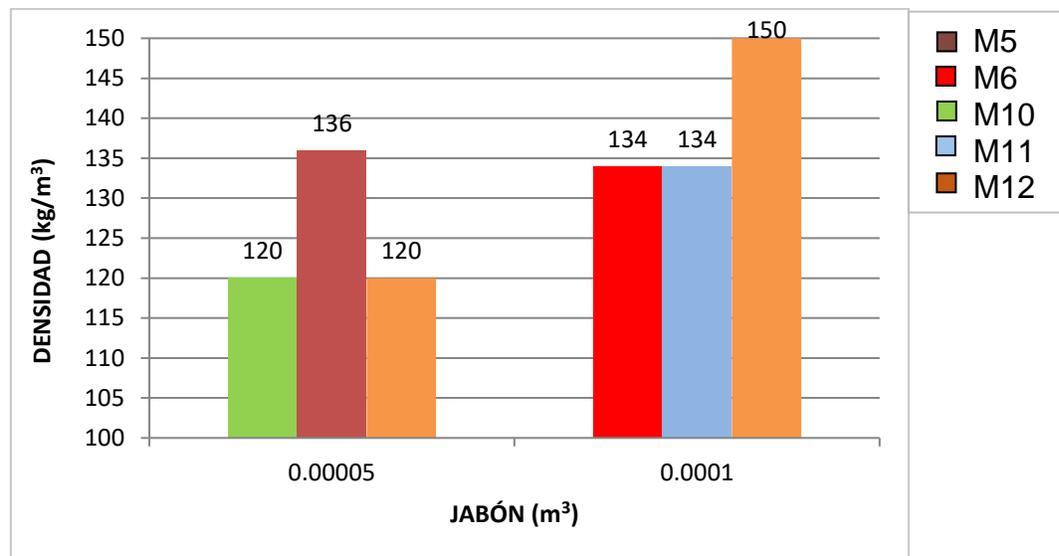
En esta segunda etapa, para el diseño de la mezcla, se tomó como principal objetivo realizar otras mezclas con otros tipos de espumante, ya que como se observó en las gráficas anteriores del objetivo 1, las densidades fueron bajas. Por ello, fue necesario realizar otros ensayos que proporcionaran una cantidad mayor de espuma y que esta fuera más firme, para finalmente encontrar dicha mezcla óptima que funcionara con los otros materiales bases y formar el bloque de concreto liviano. (Ver tabla 5).

Tabla 5. Nomenclatura y composición de las mezclas para la fabricación de espuma con mayor densidad.

Nomenclatura	Tipo de espumante	Composición (m ³)	Densidad (Kg/ m ³)
M5	Jabón azul las llaves para bebe	1000 m ³ de agua 50 m ³ de jabón	136 kg/m ³
M6	Jabón azul las llaves para bebe	500 m ³ de agua 50 m ³ de jabón 10 m ³ de glicerina	134 kg/m ³
M7	Jabón azul las llaves para bebe	500 m ³ de agua 50 m ³ de jabón 100 m ³ de azúcar	Resultado demasiado líquido, sin espuma.
M8	Jabón azul oscuro las llaves	500 m ³ de agua 50 m ³ de jabón	Resultado demasiado líquido, sin espuma
M9	Jabón en polvo	500 m ³ de agua 100 m ³ de jabón	Resultado demasiado líquido, sin espuma
M10	Lavaplatos Oso blanco	1000 m ³ de agua 50 m ³ de lavaplatos	120 kg/m ³
M11	Lavaplatos Oso blanco	1000 m ³ de agua 100 m ³ de lavaplatos	134 kg/m ³
M12	Lavaplatos las llaves	1000 m ³ de agua 100 m ³ de lavaplatos	150 kg/m ³

Fuente: Autores (2024)

Continuando en la realización del diseño de mezclas, hasta este punto, se descartaron las primeras 4 mezclas (M1, M2, M3, M4) ya que su densidad era baja, y no es que exista una densidad de espuma "mejor" en general, ya esto depende de las necesidades y preferencias individuales. Pero una densidad más alta brinda mayor firmeza y durabilidad, mientras que una densidad más baja ofrece mayor suavidad. (Ver gráfica 2)



Gráfica 2. Representación de comportamiento de acuerdo a otros tipos de espumante.

Fuente: Autores (2024)

Por ello, como lo que se quería lograr era obtener una espuma más firme para que al mezclarla con el cemento, funcionara correctamente, se procedió a realizar otro diseño de mezclas, esta vez con distintas proporciones de cemento y tipos de espumante, hasta encontrar la óptima de acuerdo al comportamiento en la formación del bloque. Destacando que, dicha mezcla para el cemento se realizó con latas de 1.4 kg cada una.

Tabla 6. Resultado de los ensayos para encontrar la mezcla óptima en la elaboración del prototipo de bloque de concreto celular liviano.

Nomenclatura	Tipo de espumante	Agua	Cemento	Arena	Resultados
MB1	Jabón líquido artesanal amarillo $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (3,13%)	0.0010 m^3 (31,25)	2,1 kg (65,62%)		No funcionó. El bloque al fraguar se desintegró
MB2	Jabón líquido artesanal amarillo $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ (1,59%)	0.0010 m^3 (31,74%)	2,1 kg (66,67%)		No funcionó. El bloque al fraguar se desintegró
MB3	Jabón líquido Oso blanco $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (3,13%)	0.0010 m^3 (31,25%)	2,1 kg (65,62%)		No funcionó. El bloque al fraguar se desintegró
MB4	Jabón líquido Oso blanco $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ (1,59%)	0.0010 m^3 (31,74%)	2,1 kg (66,67%)		No funcionó. El bloque al fraguar se desintegró
MB5	Jabón líquido Oso blanco $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (2,56%)	0.0010 m^3 (25,64%)	2,1 kg (53,85%)	0,70 kg (17,95%)	No funcionó. El bloque al fraguar se desintegró
MB6	Jabón líquido Oso blanco $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (2,56%)	0.0010 m^3 (25,65%)	2,8 kg (71,79%)		Funcionó. Pero el bloque resultó ser muy pesado.
MB7	Lavaplatos las llaves $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (2,5%)	0.0010 m^3 (25,0%)	2,9 kg (72,5%)		Funcionó muy bien.

Fuente: Autores (2024)

Debido a los resultados observados anteriormente, el lavaplatos las llaves en conjunto con una mayor proporción del cemento, posee resultados positivos en comparación con el resto de la combinación de los espumantes y las diferentes proporciones de cemento o arena, pudiéndose verificar esto en las figuras del 12 al 16, sin embargo, el propósito de dicha investigación es crear un prototipo de bloque de concreto celular que sea económico, por ello, era necesario buscar otro espumante que resultara más económico y que se

produjeran con él, la mayor cantidad de bloques posibles. A continuación, se muestran figuras para detallar mejor el comportamiento de las mezclas que no funcionaron.



**Figura 12. Bloque desintegrado como resultado del exceso de espuma en la mezcla MB1.
Fuente: Autores (2024)**



**Figura 13. Bloque desintegrado como resultado del uso de jabones líquidos artesanales como la mezcla MB2.
Fuente: Autores (2024)**



**Figura 14. Bloque desintegrado como resultado del uso del jabón Oso blanco como las mezclas MB3, MB4 y MB6.
Fuente: Autores (2024)**



**Figura 15. Bloque desintegrado como resultado del uso de elementos como la arena en la mezcla MB6.
Fuente: Autores (2024)**



Figura 16. Bloque mal formado como resultado de un mal encofrado. Sin embargo, mantuvo la unión sin desintegrarse, utilizando la mezcla MB7.

Fuente: Autores (2024)

Continuando con el diseño de la mezcla y al verificar que el lavaplatos las llaves funcionaba bien, pero resultaba muy costoso para su contenido tan poco; después de realizar varios estudios bibliográficos, se decidió probar con el tipo de espumante “Genapol” determinando su comportamiento al ser mezclados con el agua y el cemento.

El genapol es un compuesto surfactante que se considera básico o usado como parte de la materia prima para la elaboración de productos para lavar la vajilla y limpieza doméstica, suele ser usado puesto que hace espuma con facilidad además de no causar reacciones de irritación en la piel.

Algunas de las características del Genapol son:

- Se presenta en forma de gelatina transparente no homogénea.
- Como pasta al 70% proporciona mejores resultados, pero se puede encontrar en forma líquida.
- Actúa como un detergente gracias a la disminución de tensión superficial que genera sobre la suciedad.
- Es un producto derivado del aceite de coco.

- Es de olor suave, por lo que se le pueden agregar diferentes esencias.
- Se considera un producto seguro, siempre y cuando no se maneje en altas concentraciones. (Ver figura 17)

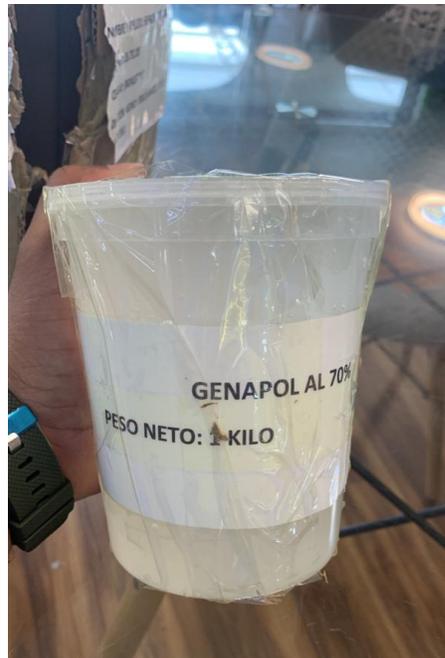


Figura 17. Tipo de espumante “Genapol”.
Fuente: Autores (2024)

Para este procedimiento, como se mencionó anteriormente, se utilizó la máquina generadora de espuma, en esta oportunidad con la bombona mayor de 13 kg para una mayor producción de espuma y la mezcla correspondiente. A continuación, en la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados con el espumante genapol, detallando los porcentajes de espuma, cemento, agua y la nomenclatura usada para cada una de los diseños de mezcla ensayados. Cabe destacar que en todos los casos la premisa fue mantener un bajo peso volumétrico.

Tabla 7. Resultado de los ensayos para encontrar la mezcla óptima en la elaboración del prototipo de bloque de concreto celular liviano utilizando el tipo de espumante genapol.

Nomenclatura	Tipo de espumante	Composición de la Espuma	Composición del Cemento	Agua en el cemento	Resultados
MB8	GENAPOL	3x10 ⁻⁶ m ³ de genapol 0,0010 m ³ de Agua (20,84%)	2,8kg (58,33%)	0,001 m ³ (20,83%)	Funcionó Excelente. sin embargo, el bloque no lograba levantar hasta el tope del encofrado como era lo correcto.
MB9	GENAPOL	7x10 ⁻⁶ m ³ de genapol 0,0025 m ³ de agua (39,69%)	2,8 kg (44,44%)	0,001 m ³ (15,87%)	No funcionó, debido a la poca cantidad de cemento y mayor proporción de agua. Lo que hizo que el bloque no levantara.
MB10	GENAPOL	7x10 ⁻⁶ m ³ de genapol 0,0020 m ³ de agua (20,25%)	5,95 kg (59,55%)	0,002 m ³ (20,20%)	Funcionó bien, sin embargo, el bloque no lograba levantar hasta el tope del encofrado como era lo correcto.
MB11	GENAPOL	7x10 ⁻⁶ m ³ de genapol 0,0025 m ³ de agua (24,80%)	5,60 kg (55,41%)	0,002 m ³ (19,79%)	Funcionó Excelente. sin embargo, se siguió probando para verificar si funcionaba con menor material para disminuir costos.
MB12	GENAPOL	7x10 ⁻⁶ m ³ de genapol 0,0025 m ³ de agua (26,09%)	5,25 kg (54,65%)	0,00185 m ³ (19,26%)	Funcionó Excelente. El bloque logró una textura, calidad y altura adecuada.

Fuente: Autores (2024)

De acuerdo a los resultados antes mencionados, aunque las mezclas MB8, MB10 Y MB11 funcionaron bien, se descartaron debido a que no eran las proporciones correctas para que el bloque liviano llegara al tope del encofrado y este se formara completamente (Ver figura 18 y 19). Es por ello, que después de haber realizado los diferentes ensayos mencionados anteriormente con distintas composiciones y tipos de espumante, se llegó al resultado final, obteniendo como mezcla óptima la MB12, la cual funciona excelente, y en comparación con el resto de las mezclas obtenidas lleva mucha ventaja, cumpliendo con las características que se requieren, siendo

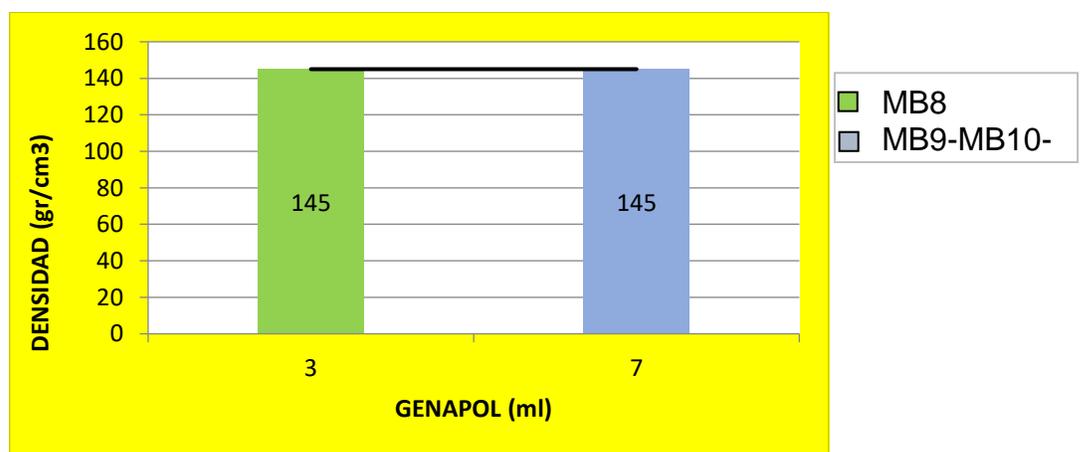
un bloque de aspecto macizo completo, liviano, de buena textura y calidad. (Ver figura 20).

Siendo importante resaltar que este tipo de espumante genapol tiene una densidad de 145000 kg/m^3 , y el bloque completo en general posee un peso de 4.9 kilogramos y su densidad total es de $3.36 \times 10^8 \text{ kg/m}^3$, siendo este beneficioso también en este aspecto ya que con una mínima cantidad en mililitros se logra producir una mayor densidad en comparaciones con los primeros espumantes en los cuales se usaba más mililitros y tenían menos densidad. (Ver gráfica 3) (Ver tabla 8)

Tabla 8. Características de bloque de concreto celular óptimo.

Medidas (m)	Peso (kg)	Densidad (kg/m^3)
0.2 x 0.5 x 0.15 m	4.9 kg	3.36×10^8

Fuente: Autores (2024)



Gráfica 3. Densidad en espumante seleccionado para elaboración del bloque de concreto celular óptimo.

Fuente: Autores (2024).



Figura 18. Bloque de concreto celular de prueba incompleto con la mezcla MB8.

Fuente: Autores (2024).



Figura 19. Bloque de concreto celular fabricado con mezclas como MB9, MB10.

Fuente: Autores (2024)



Figura 20. Bloque de concreto celular fabricado con la mezcla óptima MB12.

Fuente: Autores (2024)

Una vez obtenida la mezcla óptima es importante tener en cuenta dos aspectos fundamentales. En primer lugar, cómo adherir estos bloques entre sí durante la ejecución de una obra y, en segundo lugar, la idea de plantear una máquina generadora de espuma industrial para producir una mayor cantidad de bloques, bien sea para su comercialización o su empleo en una construcción que requiera grandes cantidades de estos. En el primero de los planteamientos, se planteó la elaboración de la lechada o pega para adherir dichos bloques de concreto celular con los siguientes materiales y composición. (Ver tabla 9)

Tabla 9. Materiales y composición para la elaboración de la pega o lechada para adherir los bloques de concreto celular fabricados.

MATERIALES	COMPOSICIÓN
Arena	48,125%
Cemento	48,125%
Tildosa	3.00%
Polímero Redispersable (RDP)	0.75%

Fuente: Autores (2024)

En las siguientes figuras se puede observar el proceso de elaboración de la misma, la cual cumple correctamente con la función de adherir dichos bloques de concreto celular liviano, siendo esto ventajoso ya que requiere un fácil manejo a la hora de su preparación y no requiere de altos costos. (Ver figura 21)

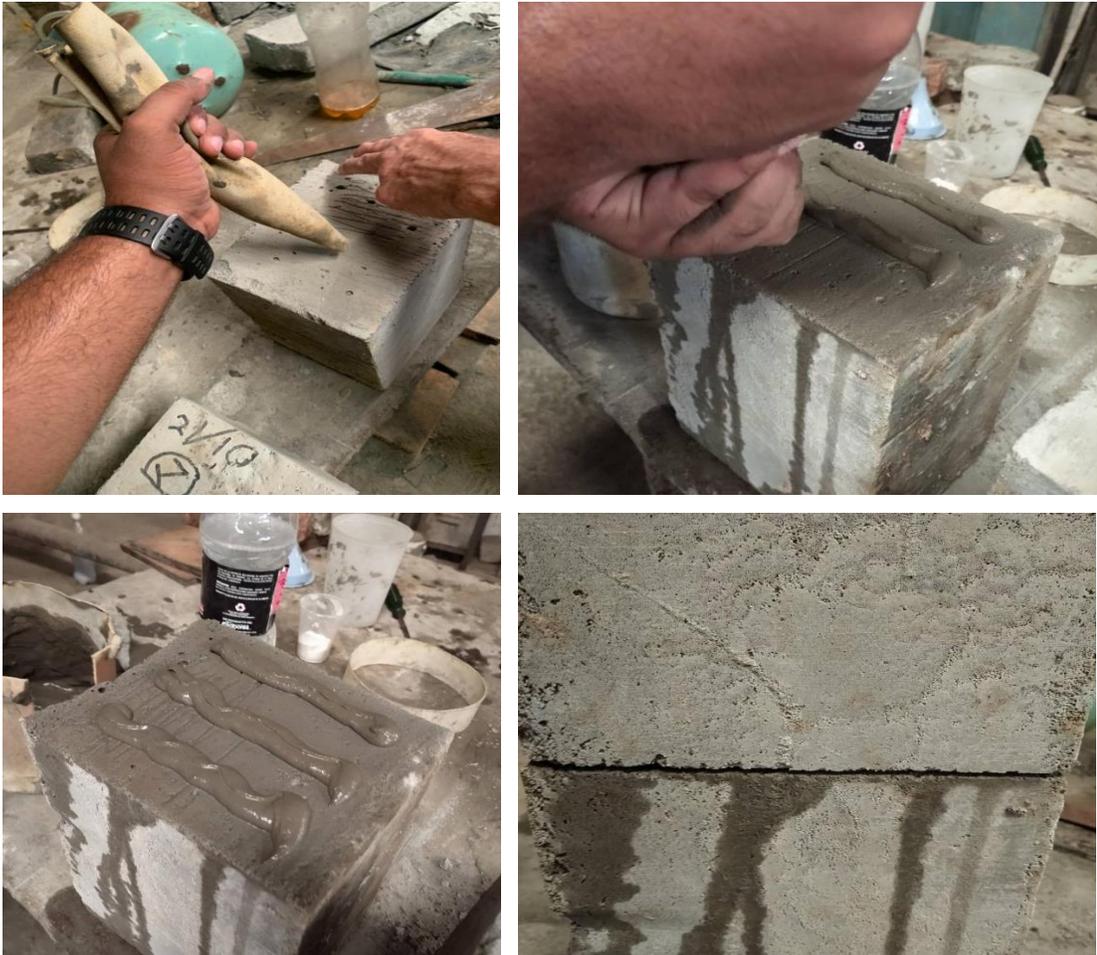


Figura 21. Comprobación de efectividad de la prueba elaborada para adherir los bloques de concreto celular.

Fuente: Autores (2024)

Continuando, se realizó la propuesta de la máquina generadora de espuma industrial, para producir más de 300 bloques al día, la cual se muestra a continuación en conjunto con los materiales utilizados para su elaboración

en la tabla 10. Resulta fundamental revisar el manual para el correcto manejo de la misma, el cual se encuentra disponible en el anexo D de dicho proyecto.

Tabla 10. Materiales para la propuesta de elaboración de la máquina generadora de espuma industrial.

Materiales	Cantidad	Unidad
Electrodos	5,00	KG
Fondo anticorrosivo	1,00	GLN
Láminas de acero 120 x 240	3,00	UND
Compresor	1,00	UND
Regulador	1,00	UND
Ruedas	4,00	UND
Válvula 2"	1,00	UND
Válvulas 1/2"	4,00	UND
Conexiones	1,00	UND
Manguera	10,00	MTS
Equipo de soldadura	1,00	UND

Fuente: Autores (2024)

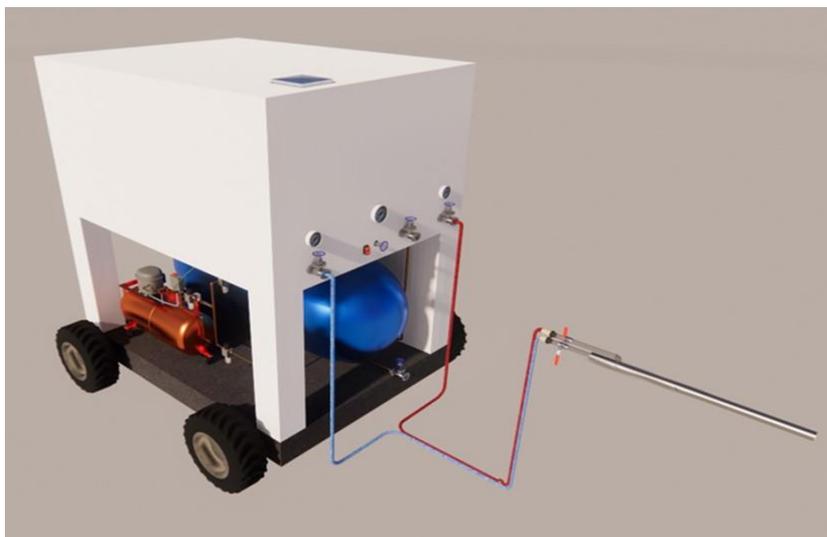
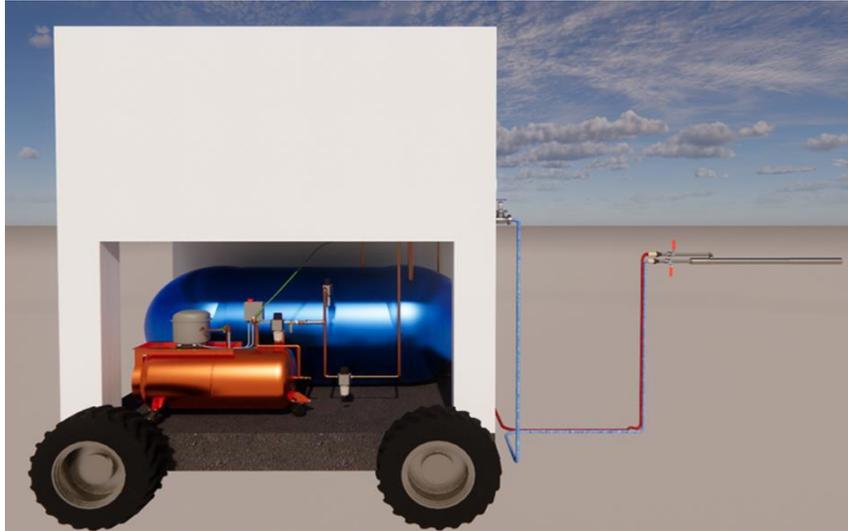
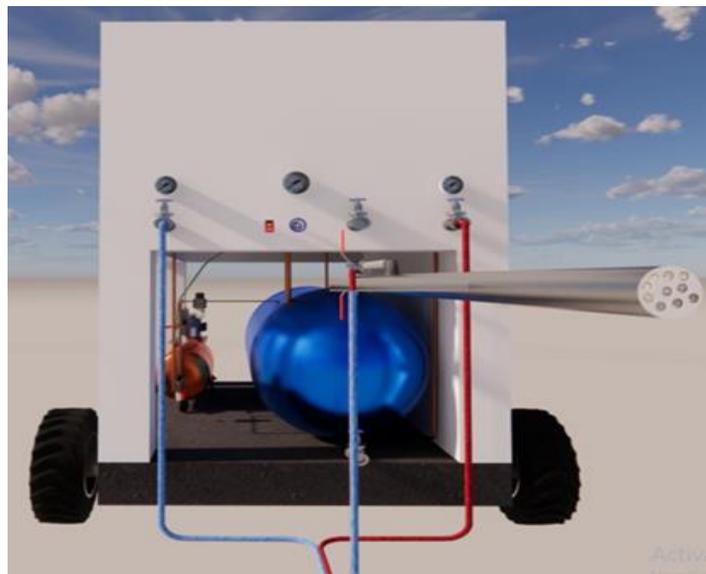


Figura 22. Vista isométrica de la máquina generadora de espuma industrial para producir bloques de concreto celular.

Fuente: Autores (2024)



**Figura 23. Vista frontal de la máquina generadora de espuma industrial para producir bloques de concreto celular.
Fuente: Autores (2024)**



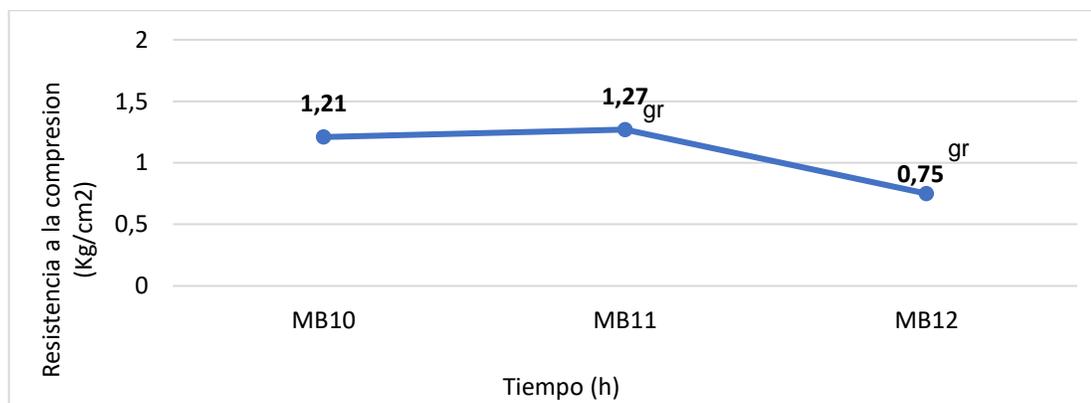
**Figura 24. Vista lateral derecha (Panel de control) de la máquina generadora de espuma industrial para producir bloques de concreto celular.
Fuente: Autores (2024)**

4.3 Efectuación de pruebas de compresión, absorción de agua, comportamiento térmico y frisado a los bloques de concreto celular obtenidos, según lo establecido por la *American Society Testing and Materials (ASTM)*, norma ASTM-C1386.

En esta tercera etapa, para cumplir con lo establecido en la norma ASTM – C1386, se realizaron diferentes pruebas al bloque óptimo elaborado, para verificar que este cumpliera con cada una de las propiedades en cuanto a la resistencia a la compresión, absorción del agua, comportamiento térmico y el frisado. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

4.3.1. Prueba de compresión a los bloques de concreto celular.

Para la realización de la prueba de compresión se utilizaron los bloques de las mezclas obtenida MB10, MB11 y la seleccionada MB12 para evaluar el comportamiento de cada uno y verificar su resistencia a la compresión. Los prototipos seleccionados fueron completamente macizos, medidas de 0.20 x 0.50 x 0.15 metros, este resistió 540 kg al realizar dicha prueba de compresión. A continuación, en la gráfica 4 se muestran por cada prototipo los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión, en conjunto con la tabla 11.



Gráfica 4. Resultados del ensayo de la resistencia a compresión.
Fuentes: Autores (2024)

Tabla 11. Resultados del ensayo de la resistencia a compresión

Mezcla	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)
MB10	1,21 kg//cm ²
MB11	1,27 kg/cm ²
MB12	0.750 kg/cm ²

Fuente: Autores (2024)

Como se muestra en la tabla anterior, el bloque que más resistió fue el de la mezcla MB10, seguidamente el MB11 y por último el óptimo seleccionado MB12, el cual resistió 0.750 kg/cm², Sin embargo, esto no es influyente debido a dos cosas. En esencia el propósito de la investigación ha sido crear un bloque de concreto celular que fuese de bajo costo, y no el más resistente. Y, por otra parte, la resistencia obtenida por la muestra MB12 es bastante competente para la construcción de paredes en las obras civiles, sin riesgo alguno de colapso o derrumbe. Es por ello que la opción MB12 sigue siendo la más óptima, aunque su resistencia a la compresión no fue la más alta. Las muestras de las siguientes pruebas se encuentran en el Anexo K.

4.4.2 Prueba de absorción de agua a los bloques de concreto celular.

Como se describió anteriormente en el flujograma, esta prueba se realizó sumergiendo los bloques dentro de un recipiente de agua evaluando el comportamiento durante 2 o 3 días, verificando si podían soportar condiciones de anegamiento total. Una vez saturadas las muestras, se sacaron del recipiente y se dejaron secar un día más, para ser pesados seguidamente. En los resultados se pudo observar la diferencia en el peso del bloque al ser sumergido, sacado y luego pesado, al dejar pasar dos días para su secado completo (Ver figura 25, 26, 27 y 28). En la siguiente tabla 12, se muestran

los resultados obtenidos del ensayo de absorción de agua para cada una de las muestras.

Tabla 12. Resultado de prueba de absorción

Bloque óptimo	Fecha	Peso húmedo (Kg)	Peso seco (Kg)	Resultados
MB12	23/10/23	2.076 kg		El bloque funcionó excelente y mantuvo su forma durante los dos días sumergido en el envase de agua.
MB12	24/10/23		1.492 kg	El bloque de concreto celular funcionó excelente, Ya que su peso al secarse era menor al húmedo, demostrando una buena absorción. Absorbiendo al menos 0.584 kg.
MB12	25/10/23		1.226 kg	El bloque de concreto celular funcionó excelente, al siguiente día seguía absorbiendo más el agua, En este punto ya eran al menos 0.856 kg absorbidos.

Fuente: Autores (2024)



Figura 25. Bloque de concreto celular húmedo en la balanza digital, determinando su peso con una muestra de la mezcla MB12,

Fuente: Autores (2024)



**Figura 26. Bloque de concreto celular seco en la balanza digital, determinando su peso el día uno con una muestra de la mezcla MB12.
Fuente: Autores (2024).**

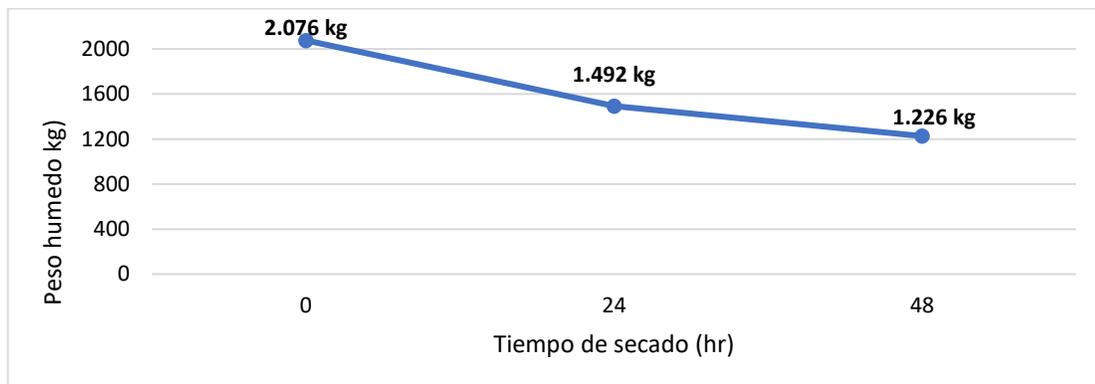


**Figura 27. Bloque de concreto celular seco a los dos días de haber sido sumergido para determinar el resto de agua que absorbió el día dos con una muestra de la mezcla MB12.
Fuente: Autores (2024).**



Figura 28. Procedimiento de prueba de absorción de agua.
Fuente: Autores (2024).

Esto quiere decir que, al aumentar los días y dejar secar más el bloque, la absorción de agua es mayor, siendo este bastante útil con respecto a esta características o propiedad, ya que como se observó anteriormente, en dos días logró bajar la humedad disminuyendo su peso 0.856 kg. Dicho comportamiento se puede observar en la siguiente gráfica 5.



Gráfica 5. Comportamiento del bloque de concreto celular en el ensayo de absorción de agua durante los días de prueba con la mezcla MB12.
Fuente: Autores (2024).

4.3.3 Prueba de comportamiento térmico a los bloques de concreto celular.

Para realizar las pruebas térmicas, fue necesario evaluar si el bloque podría resistir tanto a la transferencia de calor, como a la transferencia del frío, con la finalidad de simular cualquier condición real en una obra civil, incluyendo las probabilidades de incendio. A continuación, se describe detalladamente cada una de las pruebas.

4.3.3.1 Prueba de calor al bloque de concreto celular

El proceso se realizó durante 1 hora, a fin de cumplir con la norma ASTM C-1386, para comprobar la resistencia al fuego continuo por 60 minutos sin que ocurra fractura o se consumiera. Al respecto, se tomó el bloque MB12, una vez curado y secado después de los 5 días, se colocó en fuego directo mediante una hornilla de cocina, en la que se calentaba una parte específica del bloque, y cada 10 minutos se verificaba la temperatura a través de un termómetro digital, observándose que desde el inicio de la prueba, hasta que finalizó, no hubo variación alguna, manteniendo un promedio de 29 a 30 grados. (Ver figura 29).

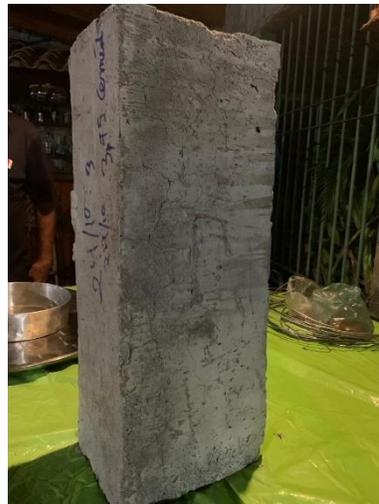


**Figura 29. Temperatura en hornilla de cocina a fuego directo, comprobada con el termómetro digital.
Fuente: Autores (2024).**

El bloque mantuvo un buen comportamiento en cuanto a esta prueba de temperatura realizada, ya que no disminuyó su resistencia y además de eso conservó sus características físicas en un buen estado, debido a que no se agrietó ni se deformó. A diferencia de un bloque tradicional, si llega a ser sometido a estas temperaturas elevadas por un lapso de tiempo de 1 hora o más, el mismo logra desmoronarse. (Ver figuras 30, 31 y 32)



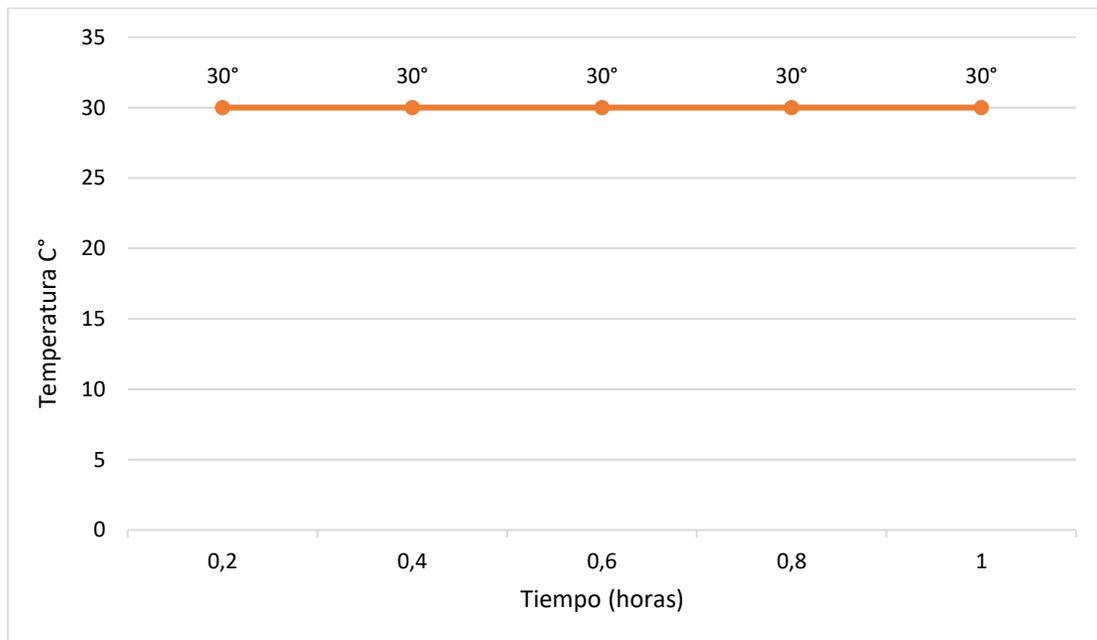
**Figura 30. Prueba de fuego directo al bloque de concreto celular con la mezcla óptima MB12.
Fuente: Autores (2024)**



**Figura 31. Resultado de la cara principal del bloque de concreto celular (MB12) donde recibió el fuego directo.
Fuente: Autores (2024)**



Figura 32. Resultado de las caras restantes del bloque de concreto celular (MB12) que no recibieron fuego directo.
Fuente: Autores (2024)



Gráfica 6. Resultado de prueba térmica al bloque de concreto celular.
Fuentes: Autores (2024)

4.3.3.2 Prueba de frío al bloque de concreto celular

Para la realización de esta prueba se introdujo el bloque de concreto celular dentro de una bolsa con una cantidad considerable de hielo, donde se hizo la simulación de una cava, en la cual inicialmente su temperatura era de 0 grados centígrados, por lo que se realizó un monitoreo a diferentes horas, evaluando a través del termómetro digital la temperatura. Asimismo, en dicha prueba se observó que la temperatura disminuyó medio grado por hora, destacando que, hubiese funcionado mejor si se hubiesen fijado las uniones o en su defecto que las juntas estuviesen cerradas, evitando así la pérdida de grados por hora.

Dicho lo anterior, esta prueba térmica se realizó con el propósito de comprobar el comportamiento del bloque en resistencia al frío y que resultados arrojaba el mismo, con lo que se demostró que, funciona correctamente manteniendo el frío y que para una mejor obtención de los resultados debe existir una buena unión. En las siguientes figuras 33, 34 y 35 se muestran un registro de esta prueba rápida realizada.



Figura 33. Prueba al bloque de concreto celular en la simulación de una cava con hielo, midiendo la temperatura y el comportamiento de dicho bloque con la mezcla MB12.

Fuente: Autores (2024).



Figura 34. Cava con hielo cerrada, para prueba de temperatura al bloque de concreto celular.
Fuente: Autores (2024).



Figura 35. Temperaturas tomadas con el termómetro digital durante ciertos períodos de tiempo.
Fuente: Autores (2024).

4.3.4 Prueba de frisado a los bloques de concreto celular.

Para esta prueba, se aplicó un tipo de mortero de cemento, agua y arena, se aseguró que la superficie estuviese limpia, suficientemente rugosa y libre de compuestos bituminosos u otros materiales perjudiciales. Luego se aplicó, se lijó contra la superficie de concreto, que es lo suficientemente rugosa y se dejó endurecer por un periodo de 24 horas. Obteniendo una buena adherencia en el frisado, como se observa en la siguiente figura 36.



Figura 36. Resultado de la prueba de frisado al bloque de concreto celular.

Fuente: Autores (2024)

4.4 Presentación de un análisis de precio unitario del bloque del concreto celular y compararlo con el costo de un bloque tradicional usando el programa comercial LuloWin versión 2014.

Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario realizar un análisis de precio unitario del bloque de concreto celular macizo elaborado, así como también de la máquina descrita anteriormente para una elaboración más rápida de estos bloques en el sentido industrial y por supuesto, un análisis de precio de un bloque de concreto celular con huecos los cuales se encuentran a partir del anexo E, para así poder compararlo con el bloque tradicional, que comercialmente no se caracteriza por ser macizo, sino por tener tres orificios. El mismo está contemplado por los siguientes factores:

4.4.1 Moneda

La moneda establecida para la elaboración de los análisis de precios unitarios fue el dólar estadounidense (\$). El bloque de concreto celular fue elaborado en la República Bolivariana de Venezuela, sin embargo, debido a la devaluación actual de la moneda venezolana, se procedió a realizarlo con el dólar americano para que el costo o valor de dicho bloque perdurara en el tiempo.

4.4.2 Rendimiento

El rendimiento de la mano de obra en el análisis de precios unitarios, es la cantidad de trabajo que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas, en este caso fue calculado mediante las horas hombres. Para el caso de la máquina generadora de espuma industrial, se calculó un rendimiento de 2 días para su elaboración, de acuerdo a la magnitud de la obra y mano obrera. Y para el caso de los bloques realizados, tanto el macizo como el hueco, se calculó un

rendimiento de 300 bloques al día con ayuda de la máquina generadora de espuma.

4.4.3 Prestaciones sociales

Las prestaciones sociales son beneficios legales que el empleador debe pagar adicionalmente al salario de sus colaboradores, vinculados mediante un contrato de trabajo. Estas son un reconocimiento por los servicios prestados a la empresa y por el aporte que brinda en la generación de ingresos y utilidades de la organización. Se encuentran conformadas por la prima de servicios, cesantías, intereses sobre las cesantías y dotación, entre otras. Dentro de estas, se incluyen también el descanso remunerado y los pagos cuyo objeto es cubrir los riesgos eventuales que corre el colaborador en el desarrollo de sus actividades laborales. Es decir, los riesgos profesionales y la seguridad social, que corresponde a los pagos de la salud y la pensión.

Las mismas fueron y son calculadas mediante experticia, lo correspondiente al artículo 142 literal de la Ley Orgánica del Trabajo, los Trabajadores y las Trabajadoras (LOTTT) que prevé el cómputo de la garantía de las prestaciones sociales considerando un pago trimestral de quince (15) días de salario integral con base al salario del último mes del respectivo trimestre.

4.4.4 Administración y gastos generales

Son aquellos que están asociados con la gestión y el mantenimiento de una empresa u organización. El costo de los gastos administrativos y generales se calcula, sumando todos los costos directos multiplicándose por un %. Aunque varía para obra, este generalmente es del 10% o 15%, usando

en este caso para los gastos en el bloque de concreto celular un porcentaje del 15%.

4.4.5 Utilidades

Las utilidades son un pago en dinero que se otorga a los trabajadores en reconocimiento a su contribución a la generación de los beneficios de una empresa. Su cálculo se realizó sumando los costos directos más los gastos administrativos, multiplicándolos por el % de utilidad, el cual se encuentra establecido en el artículo 31 de la LOTTT (Ley Orgánica Del Trabajo, Los Trabajadores Y Las Trabajadoras) y es del 15%.

De acuerdo al presupuesto realizado, el bloque de concreto celular propuesto tiene un valor de 1,39\$, dicho bloque se caracteriza por ser macizo y tener unas medidas de 20x50x15 cm, llegando a tener un peso de aproximadamente 5 kilogramos, por lo que, es un bloque completamente diferente al tradicional.

Por ello, se realizó un análisis de precio unitario de un bloque hueco, para que así, pudiese ser comparado con el bloque tradicional, el cual se obtuvo con un valor de 0.29\$ y el bloque tradicional, debido a fuentes y referencias de distintas boqueras ubicadas en el estado Anzoátegui, específicamente en el municipio Pedro María Freites, en Cantaura, tiene un valor o costo de 0.35\$ aproximadamente.

Asimismo, para la fabricación de los mismos, fue necesario realizar un estudio a través del análisis de precio unitario de la máquina para la elaboración de 300 bloques en un día; para un campo industrial más abierto a la hora de comercializarlo, la cual tuvo un valor de 563,05\$, siendo esta una máquina espumante que generalmente sobrepasa en el mercado los 2000\$.

Por otra parte, en la siguiente tabla 13, se muestra una comparación del valor del bloque de concreto celular con huecos y uno tradicional.

Tabla 13. Comparación del costo del Bloque de concreto celular liviano y un bloque de concreto tradicional.

Bloque de concreto celular liviano	Bloque de concreto tradicional
0,29\$	0,35\$

Fuente: Autores (2024)

Como se pudo visualizar en la tabla anterior, el bloque de concreto celular liviano tiene un costo menor al tradicional, por lo que resulta favorable utilizarlo, pues posee características de resistencia, absorción de agua, frisado y prueba térmica, siendo todo esto sustentado bajo la norma ASTM C- 1386.

4.5 Comparación mediante un análisis de ciclo de vida, el bloque de concreto celular con el bloque tradicional.

4.5.1 Análisis de Ciclo de vida del bloque de concreto celular.

4.5.1.1 Extracción de materias primas

En la elaboración del bloque de concreto celular liviano, se utilizaron materiales como, cemento, agua y un tipo de espumante, como lo es el genapol; los cuales son los materiales para la composición de la mezcla óptima.

Cemento: La producción de cemento Portland, que es el utilizado como material para la elaboración del bloque de concreto celular, no solo implica la extracción de piedra en canteras, lo que contamina el aire por la emisión de

polvo, sino que también requiere el uso de enormes hornos, que consumen grandes cantidades de energía. La fabricación de cemento incluye el transporte de materiales polvorientos o pulverizados desde la cantera de piedra caliza, hasta el embarque del producto terminado para envío. Las partículas son la causa más importante del impacto ambiental negativo.

Agua: El agua es la materia prima extraída de la naturaleza o los ecosistemas, esta tiene una gran importancia puesto que es un aporte al ambiente y en este caso actúa como un disolvente en las mezclas realizadas para la fabricación del bloque de concreto celular.

Espumante: El tipo de espumante es el ya mencionado anteriormente, llamado genapol y conocido también como lauril éter sulfato sódico, es un detergente y surfactante aniónico biodegradable del tipo alcohol graso natural sulfatado encontrado en numerosos productos del cuidado personal. Asimismo, los detergentes son un producto sintético, normalmente derivados del petróleo. Una mezcla de muchas sustancias que, en conjunto, tienen la propiedad de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo. La mayoría de los detergentes son compuestos de sodio del sulfonato de benceno sustituido, denominados sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS). Sin embargo, el genapol por ser un material biodegradable no tiene un impacto en el ambiente.

Dicho lo anterior, existen otros detergentes que si son capaces de ocasionar impactos sobre el ambiente como es la eutrofización, debido a los altos niveles de fósforo procedentes del tripolifosfato, principal ingrediente de las formulaciones de detergentes. Además, pueden aumentar los niveles de cloro y de compuestos organoclorados; algunos posiblemente de carácter tóxico y carcinógeno.

4.5.1.2 Fabricación de los bloques de concreto celular

Para la fabricación de los bloques de concreto celular se utilizó el patio de la empresa Alexcar C.A, en el cual no hubo ningún tipo de daño ejercido al ambiente en su fabricación. Los pasos a seguir fueron los siguientes:

- La preparación, la dosificación y la mezcla de las materias primas (espumante, agua y cemento) con las proporciones adecuadas.
- La preparación de los moldes.
- Vaciado de la mezcla en los moldes o encofrados
- El curado durante 5 a 7 días con cáscaras de huevo
- Y finalmente el secado de cada uno.

Por ello, este es considerado un material ecológico debido a su compatibilidad con el medio ambiente. Su proceso productivo no incluye sustancias nocivas, a excepción del uso del cemento que requiere un daño nocivo al ambiente en su fabricación, pero del resto, involucra un bajo consumo de energía y permite el reciclaje de residuos.

4.5.1.3 Embalaje y transporte

Para el embalaje y transporte de los bloques, deben estar completamente curados y secados para que no exista ningún tipo de fractura en ellos, se colocan en un medio de transporte apto con una plataforma en la que puedan ser llevados de forma segura. Un bloque de concreto celular de buena calidad exige una cuidadosa manipulación. Por ello, el producto final se debe empaquetar antes de su transporte desde la fábrica de tal forma que esté protegido de la suciedad y la humedad. Dependiendo del concepto de planta, este proceso de embalado se puede realizar de forma completamente o

parcialmente automática. Para almacenar y transportar de forma segura los palets de transporte cargados, es recomendable colocarles flejes de plástico. En función de los deseos del cliente, en la línea de embalado se pueden integrar otros conceptos de embalaje individuales, como las instalaciones de film retráctil o extensible.

4.5.1.4 Uso y Mantenimiento

De acuerdo a su uso:

- Se utiliza en azoteas y pisos como aislante térmico y acústico, aplicándolo en suelos rígidos; para canchas de tenis y rellenos Inter espaciales entre capas de ladrillos en paredes subterráneas, aislamiento en bloques vacíos y cualquier otra situación de relleno donde se requieren propiedades elevadas de aislamiento.
- Se emplea para la fabricación de bloques y paneles precolados/premoldeados para paredes de revestimiento o divisorias, losas para cielo rasos, capas de aislamiento térmico y acústico en edificios residenciales y comerciales de varios pisos.
- Se utiliza en bloques y paneles de concreto para las capas externas de edificios, así como en paredes divisorias, losas de concreto para techos y pisos.
- Se utiliza en paneles prefabricados de cualquier dimensión para usos comerciales e industriales, ornamentos de paisajismo y otras aplicaciones donde un concreto estructural liviano representa una ventaja.

De acuerdo a su mantenimiento, los bloques de concreto celular a base de espumante generalmente implican medidas para asegurar su durabilidad y

aparición estética a lo largo del tiempo. Algunos pasos a seguir para el mantenimiento de estos bloques incluyen:

- **Limpieza regular:** limpiar los bloques regularmente para eliminar polvo, suciedad y otros contaminantes. Se puede realizar con agua y un detergente suave si es necesario.
- **Protección contra agentes atmosféricos:** los bloques de concreto celular deben protegerse contra la exposición prolongada a la lluvia y la luz solar directa, ya que estas condiciones pueden afectar su apariencia y durabilidad. Un sellador específico para concreto puede ayudar a protegerlos.
- **Reparaciones y rellenos:** si se produce algún daño, como grietas, es importante repararlo pronto para evitar que se agrave. Las grietas pequeñas pueden repararse con masilla para concreto, mientras que las grietas más grandes pueden requerir reparaciones profesionales.
- **Prevención del moho:** si los bloques están en un área propensa a la humedad, es importante tomar medidas para prevenir el crecimiento de moho y hongos. Esto puede incluir el uso de pinturas o revestimientos antimoho.
- **Inspecciones periódicas:** realizar inspecciones regulares para identificar cualquier problema temprano y abordarlo antes de que se convierta en un problema mayor.

4.5.1.5 Reciclaje o desecho final

Los bloques de concreto celular son generalmente reciclables, pero la facilidad de reciclaje y las opciones para su disposición final pueden variar según el tipo exacto de bloques y los procesos de producción utilizados. Algunos bloques de concreto celular están hechos con materiales reciclados y

son diseñados para ser reciclables. En este caso, los bloques pueden ser triturados y los materiales pueden ser reutilizados en la fabricación de nuevos bloques u otros productos de concreto.

En ausencia de opciones de reciclaje, los bloques de concreto celular suelen ser inertes y seguros para su disposición final en vertederos autorizados. No obstante, siempre es importante verificar las regulaciones locales y seguir las prácticas adecuadas de eliminación de residuos para asegurar un manejo ambientalmente responsable.

En resumen, la fabricación de bloques de concreto celular a base de espumante puede tener impactos ambientales negativos, aunque es importante tener en cuenta que estos pueden variar dependiendo de los métodos de producción específicos y las prácticas utilizadas por los fabricantes. Algunos de los daños ambientales asociados a la fabricación de estos bloques son los 3 mencionados a continuación:

- **El consumo de energía**, la fabricación de bloques de concreto celular a menudo requiere grandes cantidades de energía, especialmente para la producción del cemento. Este alto consumo energético puede contribuir significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero si la energía proviene de fuentes no renovables como el carbón o el petróleo.
- **Emisiones de gases contaminantes**, durante el proceso de fabricación, se pueden emitir gases contaminantes y partículas finas al aire, contribuyendo a la contaminación atmosférica local y regional.
- **Residuos y desechos**, la producción de bloques de concreto puede generar residuos y subproductos que deben ser gestionados adecuadamente para evitar la contaminación del suelo y el agua.

Por ello, la propuesta del bloque de concreto celular favorece al medio ambiente, pues este tiene una vida útil mayor a 50 años y no contribuye del todo con el proceso de producción mencionado anteriormente, por el contrario, contiene menos cantidad de materiales extraídos de la naturaleza, no requiere grandes cantidades de agua, ni de energía, ni grandes gases en su proceso de producción, sino a la hora de la fabricación del cemento. Para mitigar estos impactos, es fundamental que las empresas adopten prácticas de producción sostenibles, utilicen tecnologías más eficientes, reduzcan el consumo de energía y agua, minimicen las emisiones contaminantes y gestionen adecuadamente los residuos. Además, es esencial que las autoridades reguladoras supervisen y apliquen normativas ambientales para minimizar los impactos negativos en el ambiente. (Ver figura 37)

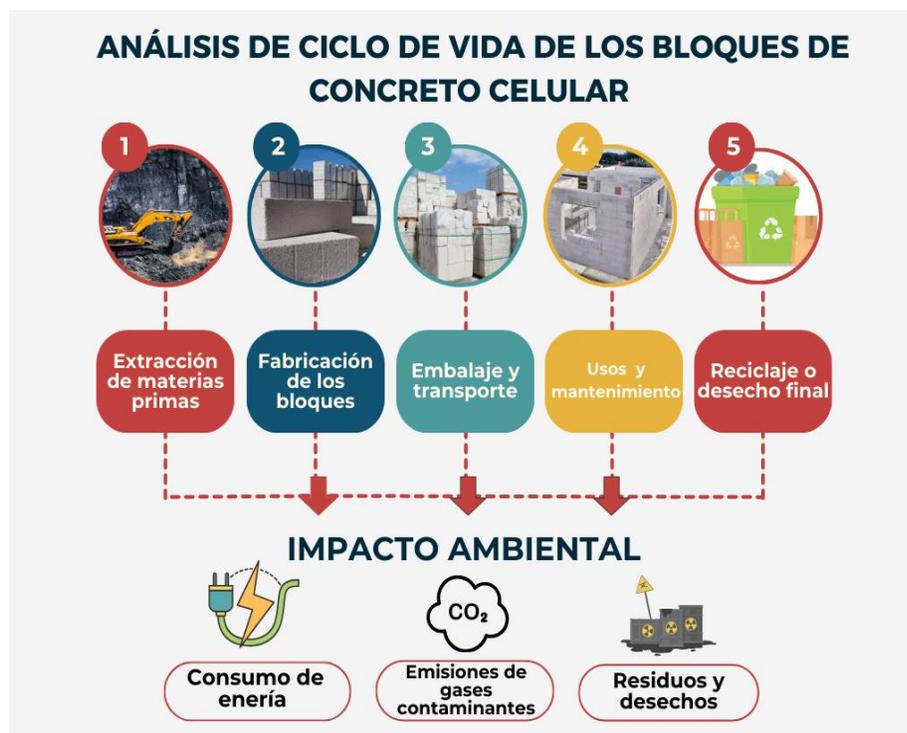


Figura 37. Análisis de ciclo de vida de la fabricación del bloque de concreto celular.

Fuente: Autores (2024)

4.5.2 Análisis de ciclo de vida del bloque de concreto tradicional

Un bloque de hormigón o concreto es un mampuesto prefabricado, elaborado con hormigones finos o morteros de cemento, utilizado en la construcción de muros y paredes. Los bloques tienen forma prismática, con dimensiones normalizadas, y suelen ser esencialmente huecos. Los bloques de concreto tradicionales también cumplen con un proceso de análisis en su ciclo de vida, el cual se describe a continuación, para ser comparado con el bloque de concreto celular.

4.5.2.1 Extracción de Materias Primas

Una variedad de materias primas puede utilizarse para producir unidades de concreto, en diferentes tamaños y formas. Las principales materias primas usadas para producir estos bloques de concreto son el cemento, la arena y diversos agregados, entregados por lo general a la fábrica por camión o tren extraídos de la naturaleza y los cuales pasan por un proceso de producción. Entre los agregados usados para producir los bloques de peso normal están específicamente la arena, la grava y la piedra triturada. Los dos primeros elementos pueden ser naturales o producidos por una trituradora en la fuente de abastecimiento.

Los agregados para elaborar bloques ligeros son pizarra expandida y quemada, arcilla, escoria de los altos hornos, *fly ash* (cenizas volantes de carbón de hulla, mineral, de altos hornos), cenizas de carbón natural y materiales naturales, como las piedras pómez, toba y escoria, mezcladas con arena. Los agregados ligeros pueden reducir el peso de los bloques de 20 a 45% cuando se comparan con el de los normales, sin que signifique sacrificar

sus propiedades estructurales, pues éstos conservan las propiedades superiores de resistencia al fuego y al aislamiento.

Los efectos negativos sobre el medio ambiente acerca de la extracción de estos componentes, son inequívocos y se están produciendo en todo el mundo. El volumen de las extracciones está repercutiendo gravemente en los ríos, deltas y ecosistemas costeros y marinos, provocando la pérdida de tierras por erosión de las zonas costeras y fluviales, la disminución de los niveles freáticos y la reducción del suministro de sedimentos.

La extracción afecta a la biodiversidad, la turbidez del agua, los niveles freáticos, el paisaje y el clima a través de las emisiones de dióxido de carbono generadas por el transporte. También tiene consecuencias socioeconómicas, culturales e incluso políticas. La extracción de áridos fluviales puede modificar el cauce del río, y aumentar la frecuencia e intensidad de las inundaciones. Actualmente, el problema es tan grave que hay lugares donde la existencia de los ecosistemas fluviales está en peligro, y los daños son más extensos en las cuencas fluviales pequeñas. Lo mismo puede decirse de las amenazas que plantea la explotación marina para los ecosistemas bentónicos. En algunos casos extremos, la extracción de áridos marinos ha cambiado las fronteras entre países, como es el caso de la desaparición de islas de arena en Indonesia.

4.5.2.2 Producción de los bloques de concreto

En relación a su producción, el concreto es el material fabricado por el hombre más utilizado de la historia. Solo el agua lo supera como el recurso más consumido en el planeta. Los bloques se fabrican vertiendo una mezcla de cemento, arena y agregados pétreos (normalmente calizos) en moldes

metálicos, donde sufren un proceso de vibrado para compactar el material. Es habitual el uso de aditivos en la mezcla para modificar sus propiedades de resistencia, textura o color.

El concreto además de ser uno de los más utilizado en el mundo, es también uno de los más contaminantes. Su proceso de producción aporta a la emisión de gases de efecto invernadero y un reciente estudio muestra su impacto en las fuentes de agua. Hasta el momento se ha determinado que el proceso de fabricación del concreto contribuye al 8,6% de las emisiones globales de CO₂ asociadas a las fuentes humanas. Con este estudio ahora se conoce que el impacto en el agua ocurre durante todas las fases de la producción de este material.

4.5.2.3 Transporte

Además de los bloques de concreto, son transportados los materiales para su elaboración. En primer lugar, el cemento es trasladado de manera neumática a los almacenes equipados con colectores de polvo. Cuando la arena y los agregados llegan, normalmente, se apilan en los patios, y después son movidos conforme se van necesitando a las tolvas. La forma más común de trasladar los materiales de las pilas a las tolvas es con un cargador frontal. Algunas fábricas emplean cintas o bandas de transporte y acumuladores o transportadores verticales.

Una vez transportados los materiales y realizado los bloques, las pilas de bloques curados se extraen del horno y las paletas de blocks se desapilan para ser puestos en un transportador de cadena. Posteriormente los bloques son presionados fuera de las paletas de acero y las paletas son reenviadas a la máquina bloquera para ser llenadas por un nuevo grupo de bloques

moldeados. Los bloques extraídos pasan por un cubo que alinea cada block y después se llevan hacia afuera con una carretilla elevadora y son almacenados. El transporte contribuye a dañar el medio ambiente y la salud humana con la emisión de agentes contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero, la generación de residuos y contaminación acústica y la fragmentación del territorio.

4.5.2.4 Uso y mantenimiento

Se utilizan en la construcción de edificios u otras estructuras. También se utilizan para construir muros o columnas y cuando se combinan con otros materiales se convierten en estructuras resistentes al fuego y a las inundaciones. Para su mantenimiento, Los acabados de fachadas son la parte de las edificaciones que más se ven amenazadas por el deterioro, ya que soportan las lluvias, el polvo, los vientos, el sol, los cambios de temperatura, la contaminación ambiental; por esto es importante tener especial cuidado en su ejecución y protección:

- Tener en cuenta durante el diseño de la fachada y edificio la provisión de un sistema de fijaciones que permita la colocación fácil y segura de andamios que permitan el acceso a todos los puntos de la fachada y se puede hacer su mantenimiento de manera cómoda y segura.
- Planear y ejecutar un mantenimiento rutinario de limpieza y protección (lavado y aplicación de hidrófugo o pintura) cada 3 a 5 años, recomendaciones que debe dejar el constructor a las administraciones futuras en cuanto al tipo, referencias y marcas de los productos originales utilizados. Esta actividad debe estar acompañada de la revisión y reacondicionamiento de todos los sellos de las juntas.

- Realizar las actividades de reparación extraordinarias que aparezcan como sellado de fisuras, fijación de unidades sueltas, etc.

4.5.2.5 Disposición final

El bloque de concreto tiene una vida útil de más de 50 años. En relación a sus residuos, son residuos corrosivos, explosivos o nocivos, catalogados como peligrosos, que representan un riesgo para la salud humana, los recursos naturales o el medio ambiente. Es por ello que, estos pueden ser reutilizados, una vez separados perfectamente, los residuos son triturados y llevados a diferentes granulometrías. La planta de concreto reciclado genera dos productos importantes. Uno es el material de residuo proveniente de concreto hidráulico y otro conocido como residuo mezclado o “todo en uno”.

En resumen. La producción de estos bloques genera un gran impacto ambiental, debido a la cantidad de procesos que causan efectos nocivos para el ambiente. Uno de los impactos ambientales evidentes en la industrialización del bloque de concreto es en la obtención de materiales que está conformado por áridos finos áridos, gruesos, estos materiales pétreos son extraídos de los ríos, de las canteras provocando así un impacto ambiental como la contaminación del agua, contaminación al suelo, contaminación al aire estos impactos vienen como resultado de las maquinarias con la que se trabaja en los ríos en las canteras, el material particulado, Los gases contaminantes que se liberan de la combustión de los hidrocarburos utilizados por maquinas volquetes en el traslado de los materiales a la fábrica de bloques. (Ver figura 38)



Figura 38. Análisis de ciclo de vida de la fabricación del bloque de concreto tradicional.
Fuente: Autores (2024)

De acuerdo a los análisis de ciclo de vida descritos anteriormente sobre los dos tipos de bloques, se muestra a continuación un cuadro comparativo que muestra el análisis del impacto ambiental de cada uno de estos. (Ver tabla 14)

Tabla 14. Cuadro comparativo del impacto ambiental de los bloques de concreto celular y los de concreto tradicional.

Bloque de concreto celular	Bloque de concreto tradicional
No requiere de gran extracción de los recursos naturales, puesto que sus componentes son cemento, agua y espumante genapol biodegradable.	Requiere mayor consumo de recursos naturales, en la extracción y utilización de materiales como arena, grava, piedra triturada y diferentes agregados. Lo cual contribuye a la pérdida de biodiversidad.
Produce gases contaminantes de CO ² y consumo de energía por utilizar materiales como el cemento el cual requiere un impacto grande en el ambiente a la hora de su fabricación. Sin embargo, en la producción específica de los bloques una vez obtenidos los materiales necesarios, lo más contaminante pueden ser las partículas del polvo, lo cual no influye de manera significativa.	Produce también gases contaminantes por el uso del cemento en su producción, lo cual genera debido a su gran cantidad de contaminantes un calentamiento global y consumo de energía
Para la producción de este bloque no se utiliza materiales extraídos de los ríos y la cantidad de agua utilizada no es tan significativa para provocar una contaminación hídrica.	Otro de los impactos ambientales evidentes en la industrialización del bloque de concreto es en la obtención de materiales que está conformado por áridos finos áridos, gruesos, estos materiales pétreos son extraídos de los ríos, de las canteras provocando así un impacto ambiental como la contaminación hídrica, contaminación al suelo y contaminación al aire, estos impactos vienen como resultado de las maquinarias con la que se trabaja en los ríos en las canteras, el material particulado.
En la disposición final, los bloques pueden ser triturados y los materiales pueden ser reutilizados en la fabricación de nuevos bloques u otros productos de concreto. En ausencia de opciones de reciclaje, los bloques de concreto celular suelen ser inertes y seguros para su disposición final en vertederos autorizados.	En relación a sus residuos, son residuos corrosivos, explosivos o nocivos, catalogados como peligrosos, que representan un riesgo para la salud humana, los recursos naturales o el medio ambiente. Es por ello que, estos pueden ser reutilizados, una vez separados perfectamente, lo residuos son triturados y llevados a diferentes granulometrías en la planta de concreto.

Fuente: Autores (2024)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se realizó una investigación bibliográfica y se determinaron diferentes materiales para la elaboración del bloque de concreto celular, entre ellos el jabón, la arena, champú y azúcar, pero debido a los resultados de las pruebas arrojadas se eligió para la fabricación de dicho bloque celular, el espumante genapol, agua y cemento.
- Con los materiales elegidos se procedió a elaborar una mezcla óptima, resultando ser de 7×10^{-6} mililitros de espumante genapol, 0.0025 mililitros de agua y 5,25 kilogramos de cemento. Con la cual se formó un bloque de concreto celular de 0.15 x 0.20 x 0.50 m con una densidad de 3.36×10^8 . Esta mezcla escogida fue la MB12.
- Según la norma ASTM-C1386, se concluyó que cumple con lo todo lo que esta establece, referente a las pruebas de compresión, absorción de agua, comportamiento térmico, facilidad de frisado y adherencia.
- El bloque de concreto celular elaborado es capaz de resistir a una hora de calor a temperaturas de 30°C sin quebrarse, fracturarse o romperse, Así como también, es capaz de resistir a bajas temperaturas, disminuyendo medio grado por hora, todo esto en función de un mejor sellado para obtener mejores resultados.

- Según los análisis de precios unitarios, se encontró que el bloque de concreto celular es ligeramente inferior al bloque tradicional de arena, puesto que, dicho bloque elaborado cuenta con un valor de 0,29\$ y el bloque tradicional con un valor de 0,35\$, teniendo en cuenta que el bloque de concreto celular mantiene unas propiedades muy superiores a las del bloque de arena.
- En la comparación del ciclo de vida se encontró que tanto el bloque tradicional como el celular, producen ciertos agentes contaminantes, sin embargo, se observó que el tradicional produce una mayor contaminación, ya que este requiere de más materia prima, la cual es extraída de la naturaleza y tiene un proceso de elaboración mucho más complejo.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda que, a la hora de elaborar el bloque de concreto celular, se haga uso correcto de los materiales, sin alterar las proporciones de la mezcla, para que haya un correcto funcionamiento del bloque. Puesto que, una mínima alteración en su composición la reacción puede variar en cuanto a su apariencia, resistencia y comportamiento de acuerdo a lo que se establece en la Norma ASTM – C1386.
- Se recomienda el uso del espumante genapol para el diseño de mezcla del bloque de concreto celular, ya que, es un producto biodegradable, no tóxico, de alta densidad y durabilidad, en comparación con otros, en caso de usar otro tipo de jabón, se debe asegurar que posea características similares a este o aún mejor.

- Con los resultados obtenidos en la Norma ASTM – C1386., los cuales fueron satisfactorios, se recomienda con toda seguridad del bloque de concreto celular.
- Se recomienda la continuidad de este proyecto, donde se pueda establecer otros usos del concreto celular en construcciones civiles.
- Se recomienda divulgar los resultados obtenidos en este proyecto para que la comunidad pueda enterarse de los beneficios que aportan los bloques de concreto celular en comparación con los bloques tradicionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alomoto & Mejillones, (2022). Estudio comparativo de 3 tipos de espumantes para la fabricación de un hormigón celular de densidad de 800 kg/m³ (d800) en santa elena. Universidad estatal península de Santa Elena. Facultad de ciencias de la Ingeniería. La Libertad, Ecuador.

American Society for Testing and Materials. ASTM C 1386 – 98. Standard Specification for precast autoclaved aerated concrete (PAAC) wall Constructions Units.

Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. (Sexta edición). Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.

Arqhys (2017). Definición de arena. Escrito por: Arqhys Decoración. Obtenido en fecha 10, 2023, desde el sitio web: <https://www.arqhys.com/decoracion/arenas.html>.

Blog ARGOS 360, (s.f). Propiedades y Aplicaciones del concreto Celular. Página web en línea]. Disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-y-aplicaciones-del-concreto-celular-1/>

Blog Becosan, (s.f). Guía del hormigón. [Página web en línea]. Disponible en: <https://www.becosan.com/es/hormigon-/>

Blog Biodisol, (s.f). El Hormigón Celular. Una alternativa ecológica y sustentable en la construcción de edificación verde. Página web en línea]. Disponible en: <https://www.biodisol.com/ahorro-energetico/el-hormigon-celular-alternativa-ecologica-y-sustentable-en-la-construccion-de-edificacion-verde-construccion-sostenible-ahorro-energetico/#:~:text=En%20ese%20contexto%2C%20el%20hormigon,a%20preservar%20el%20medio%20ambiente.>

- Chura Canahua, Sthefany Fiorella (2014). Beneficios del Concreto Celular. Pontificia Universidad Católica del Perú, Distrito de San Miguel, Lima, Perú.
- Coveñas & Valle, (2019). Diseño de bloques de concreto celular con fibras sintéticas para muros no estructurales en viviendas unifamiliares en la ciudad de Piura, 2019. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Cesar Vallejo. Piura, Perú.
- Elías Jorge (2012), Incrementar el empleo de bloques de hormigón celular. [Página web en línea]. Disponible en: [<http://proyectopragsmalia.blogspot.com/2012/12/351-incrementar-el-empleo-de-bloques-de.html>] (Consulta: 01 de agosto de 2023)
- Fernández, M (2004). Construcción de Tabiquería, Términos Básicos. (Documento en línea). Disponible en: <http://www.slideshare.net/hivannn/tabiqueria>. (Consulta: 2018, Julio 16). (Consulta: 2019. Enero 20).
- Izquierdo & Ortega, (2017). Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.
- Josman (s.f). Hormigón Celular. [Página web en línea]. Disponible en: <https://casaspasivasjosman.es/2019/03/10/hormigon-celular-con-josman/>
- M. Gelim, K. Ali (2011), *Mechanical and physical properties of fly ash foamed concrete*. [Página web en línea]. Disponible en: [<https://www.semanticscholar.org/paper/Mechanical-and-physical-properties-of-fly-ash-Gelim-Ali/a9b7548d787ccf8cfd3e73688ef3aed71735b515>]. (Consulta: 22 de agosto de 2023)

- MORALES FIGUEROA, B. (1962). *Mezclas de concreto liviano de piedra pómez del valle de Guatemala*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- NEVILLE, Adam; BROOKS, J. J. (1998). *Tecnología del concreto*. México: Trillas.
- Panesar, D. K. (2013). *Construction and Building Materials, Volume 44, Cellular concrete properties and the effect of synthetic and proteinfoaming agents*, [Versión en línea], Disponible en: [<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.024>], (Consulta: 20 de agosto de 2023)
- Retamal, F. A., Rougier, V. C., & Escalante, M. R. (2020). *Estudio del comportamiento mecánico del hormigón celular simple y hormigón celular reforzado con fibras en vigas híbridas de hormigón armado*. Paper presented at the 15 Congreso Internacional de Patología y Recuperación de Estructuras (Artículos completos): Materiales, patrimonio histórico, gestión y normalización.
- Robalino Villagómez, G. H. (2016). Implementación del mortero celular en el Ecuador.
- Sabino, C (2003). El proceso de investigación. El cid Editor, Tercera edición, Caracas, Venezuela, pp. 124, 143, 179, 197. (Consulta: 2018, mayo 26).
- Yoc, J. (2018). Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Jesús Alonso Duran (2020) <https://es.quora.com/por-qu%C3%A9-el-jab%C3%B3n-casero-no-hace-espuma#:~:text=%C2%BFpor%20qu%C3%A9%20el%20jab%C3%B3n%20casero%20no%20hace%20espuma%3F%20%2D%20Quora&text=La%20cantidad%20de%20espuma%20que,y%20el%20tiempo%20de%20curado>.

Zwick Roell (s.f). Ensayo de compresión y máquinas de ensayos de compresión. Página web en línea]. Disponible en: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-compresion/>

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Propuesta para la fabricación de bloques de concreto celular, con equipos y aditivos de bajo costo, para ser utilizados en el estado Anzoátegui
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Siso Torrealba Osniel Antonio	CVLAC	27.214.451
	e-mail	o.siso@hotmail.com
	e-mail	
Contreras Gómez Henrique José	CVLAC	26.751.805
	e-mail	elcars59@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

bloques
concreto celular
mezcla
prueba de compresión
absorción de agua
comportamiento térmico

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil
Línea de investigación Materiales de construcción	

Resumen (abstract):

Resumen

La presente investigación es de tipo descriptiva y de nivel experimental, la cual se basó en la propuesta de elaboración de un prototipo de bloques de concreto celular. Con el objetivo de proporcionar un bloque con características resaltantes dentro del ámbito de la construcción, diferente al bloque convencional que se usa generalmente. Para la realización del mismo fue necesario la elaboración de una máquina generadora de espuma y capaz de crear distintos modelos hasta encontrar el diseño de la mezcla óptima probando diferentes productos espumantes, obteniendo como resultado un bloque de concreto celular liviano, económico, de calidad y durabilidad, para ser utilizado en todo tipo de construcciones. El mismo también fue sometido a diferentes pruebas de compresión, absorción de agua, evaluación de comportamiento térmico y frisado con equipos y aditivos de bajo costo, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM-C1386. Demostrando finalmente que es un producto apto para ser usado en interiores y exteriores, mediante las distintas pruebas mencionadas y por su bajo costo calculado a la hora de su elaboración con el programa comercial LuloWin en su versión 2014 con datos actualizados del 2023.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Jesús Álvarez	ROL	CA		AS		TU	X	JU			
	CVLAC	4.510.362									
	e-mail	alexcar2005@gmail.com									
	e-mail										
Guillermo Serrano	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	22.874.376									
	e-mail	gserranozeledon@gmail.com									
	e-mail										
Gabriela Prado	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	18.594.213									
	e-mail	gabrielaprado577@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	03	24

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
AECTTG_CGHJSTOA2024	Application/word

Alcance:

Espacial
Temporal

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Departamento de Ingeniería Civil

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente Extensión Cantaura.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDOR *Razely*
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

Comunicación que hago, a usted a los fines consiguientes.

Confiantemente,

JUAN A. BOLAÑOS CUMBELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teletecnología, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/mancha

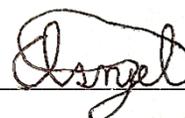
Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6

Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



Contreras G. Henrique J.
AUTOR



Siso T. Osniel A.
AUTOR



Prof. Jesús Álvarez

TUTOR