

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL CONCRETO
CELULAR ESPUMOSO COMO UNIDAD DE
ALBAÑILERIA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA CIVIL**

Autor: Bach. GALVEZ SANABRIA, PIERINA ALESSANDRA

Asesores: Mg. AYUQUE ALMIDON, NELFA ESTRELLA

Mg. PAREJAS SINCHITULLO, GERSON DENNIS

Línea de Investigación: Nuevas Tecnologías y Procesos

HUANCAYO – PERÚ

2023

FALSA PORTADA

ASESORES:

Mg. GERSON DENNIS PAREJAS SINCHITULLO

ASESOR TEMÁTICO

Mg. NELFA ESTRELLA AYUQUE ALMIDON

ASESOR METODOLÓGICO

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera

PRESIDENTE

Mg. Henry Gustavo Pautrat Egoavil

JURADO

Mg. Nataly Lucía Córdova Zorrilla

JURADO

Mg. Yina Milagro Ninahuanca Zavala

JURADO

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza

SECRETARIO DOCENTE

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de Tesis a mi madre por su apoyo incondicional y por ser la principal motivación a seguir adelante y superarme día a día, a mis hermanos por sus consejos y porque son mi guía y ejemplo a seguir; a mi padre por su apoyo emocional y económico en el pre grado, a mis sobrinos y a mi familia Gálvez por alentar mis estudios y éxitos personales.

Bach. Gálvez Sanabria, Pierina Alessandra

AGRADECIMIENTO

A Dios, gracias por guiar cada paso que doy, por la vida, salud y protección que brinda a mi persona y a toda mi familia.

A la Universidad Peruana Los Andes y docentes, gracias por las lecciones, conocimientos y tiempo que permanecí en sus instalaciones con la finalidad de formarme profesionalmente.

Bach. Gálvez Sanabria, Pierina Alessandra

CONSTANCIA DE SIMILITUD



NUEVOS TIEMPOS
NUEVOS DESAFÍOS
NUEVOS COMPROMISOS

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0164- FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la Tesis; titulada:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COMO UNIDAD DE ALBAÑILERIA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : Bach. GALVEZ SANABRIA PIERINA ALESSANDRA
Facultad : INGENIERÍA
Escuela Académica : INGENIERÍA CIVIL
Asesor(a) Metodológico : MG. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA
Asesor(a) Tematico : MG. PAREJAS SINCHITULLO GERSON DENNIS

Fue analizado con fecha 29/04/2024; con 137 págs.; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de 23 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N° 15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Version 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: ***Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.***

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.



Huancayo, 29 de abril del 2024.

MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	vii
CONTENIDO DE TABLAS	x
CONTENIDO DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 Descripción de la realidad problemática	17
1.2. Delimitación del problema	19
1.2.1 Espacial.....	19
1.2.2 Temporal.....	20
1.2.3 Económica	20
1.3 Formulación del problema.....	20
1.3.1 Problema General	20
1.3.2 Problemas Específicos.....	21
1.4 Justificación.....	21
1.4.1 Justificación Social o práctica	21
1.4.2 Justificación Científica y teórica	22
1.4.3 Justificación Metodológica.....	22
1.5 Objetivos.....	22
1.5.1 Objetivo General.....	22
1.5.2 Objetivos Específicos	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1 Antecedentes.....	24
2.1.1 Antecedentes Internacionales	24
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	29
2.2 Bases Teóricas o científicas.....	33

2.3 Marco Conceptual.....	56
2.3.1 Definición de términos	56
CAPÍTULO III	62
HIPÓTESIS	62
3.1 Hipótesis General	62
3.2 Hipótesis Específicas	62
3.3 Variables.....	63
3.3.1 Definición conceptual de las variables	63
3.3.2 Definición operacional de las variables.....	63
3.3.3 Operacionalización de Variables.....	64
CAPÍTULO IV	66
METODOLOGÍA.....	66
4.1 Método de Investigación	66
4.2 Tipo de Investigación	66
4.3 Nivel de Investigación	67
4.4 Diseño de la Investigación.....	67
4.5 Población y muestra	68
4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	69
4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	72
4.8 Aspectos éticos de la investigación	74
CAPÍTULO V	75
RESULTADOS	75
5.1 Descripción del diseño tecnológico.....	75
5.2 Descripción de resultados.....	112
5.3 Contrastación de hipótesis.....	116
CAPÍTULO VI.....	121
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	121
CONCLUSIONES.....	125
RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS.....	133
Anexo 1: Matriz de consistencia	134
Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.....	135

Anexo 3: Matriz de operacionalización del instrumento.....	136
Anexo 4: Validación de instrumento de la investigación	137
Anexo 5: Panel fotográfico.....	140
Anexo 6: Certificados de ensayos de laboratorio	148
Anexo 7: Certificados de calibración de equipos y acreditación de ensayos	212

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1: Tabla para la proporción de mezcla ajustada m ³	53
Tabla 3.1: Operacionalización de las variables	64
Tabla 4.1: Población de la investigación	68
Tabla 4.2: Rangos de validación de instrumentos	71
Tabla 4.3: Validez por juicio de expertos	72
Tabla 4.4: Coeficiente de confiabilidad	73
Tabla 5.1: Ensayos de laboratorio para el agregado fino	75
Tabla 5.2: Ensayos para el diseño de mezcla del concreto celular espumoso	76
Tabla 5.3: Ensayos para la unidad de albañilería de concreto celular espumoso	76
Tabla 5.4: Resumen de la caracterización del agregado fino	78
Tabla 5.5: Resumen de propiedades para el diseño de mezcla	79
Tabla 5.6: Granulometría del agregado fino	80
Tabla 5.7: Descripción de la arena en función al MF	81
Tabla 5.8: Peso específico y absorción del agregado fino	82
Tabla 5.9: Resultados del Peso específico y absorción del agregado fino	82
Tabla 5.10: Peso unitario suelto del agregado fino	83
Tabla 5.11: Peso unitario compactado del agregado fino	83
Tabla 5.12: Contenido de humedad del agregado fino	83
Tabla 5.13: Diseño de mezcla CONTROL al 0.10% de agente espumante	85
Tabla 5.14: Diseño de mezcla CONTROL al 0.25% de agente espumante	85
Tabla 5.15: Diseño de mezcla CONTROL al 0.50% de agente espumante	85
Tabla 5.16: Diseño de mezcla CONTROL al 2.00% de agente espumante	85
Tabla 5.17: Diseño de mezcla CONTROL al 3.00% de agente espumante	86
Tabla 5.18: Resistencia a la compresión a los 03 días de las muestras CONTROL	86
Tabla 5.19: Diseño de mezcla óptima por m ³	87
Tabla 5.20: Proporciones por tanda de 10 unidades	88
Tabla 5.21: Clase de unidad de albañilería según la Norma E.070	88
Tabla 5.22: Ensayo de variabilidad dimensional	89
Tabla 5.23: Resumen de la variación de dimensión	90
Tabla 5.24: Resultados del ensayo de variabilidad dimensional	90

Tabla 5.25: Ensayo de medida del alabeo	92
Tabla 5.26: Ensayo de absorción.....	93
Tabla 5.27: Ensayo de contenido de humedad	95
Tabla 5.28: Ensayo de densidad	96
Tabla 5.29: Ensayo de succión	97
Tabla 5.30: Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días	99
Tabla 5.31: Ensayo de resistencia a la compresión a 14 días	99
Tabla 5.32: Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días	99
Tabla 5.33: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión	100
Tabla 5.34: Ensayo de cloruros solubles a 14 días.....	102
Tabla 5.35: Ensayo de cloruros solubles a 28 días.....	102
Tabla 5.36: Ensayo de sales solubles a 14 días	103
Tabla 5.37: Ensayo de sales solubles a 28 días	103
Tabla 5.38: Ensayo de sulfatos solubles a 14 días	105
Tabla 5.39: Ensayo de sulfatos solubles a 28 días	105
Tabla 5.40: Tiempo de fabricación de las unidades.....	108
Tabla 5.41: Costo de producción de la unidad de albañilería	110
Tabla 5.42: Escala de Likert para evaluar la factibilidad	112
Tabla 5.43: Escala Likert de medición de la valoración	112
Tabla 5.44: Resumen de resultados de las propiedades de las unidades vs norma.....	113
Tabla 5.45: Resumen de resultados del tiempo de fabricación de las unidades.....	114
Tabla 5.46: Resumen de resultados del costo de producción de la unidad.....	115
Tabla 5.47: Evaluación del estudio de la factibilidad de las unidades	115
Tabla 5.48: Regresión lineal – valoración técnica de las propiedades de la unidad.....	116
Tabla 5.49: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la valoración técnica	117
Tabla 5.50: Prueba de ANOVA para la valoración técnica	117
Tabla 5.51: Regresión lineal – valoración operativa de la unidad	118
Tabla 5.52: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la valoración operativa	118
Tabla 5.53: Prueba de ANOVA para la valoración operativa	119
Tabla 5.54: Regresión lineal – valoración económica de la unidad	119
Tabla 5.55: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la valoración económica.....	120
Tabla 5.56: Prueba de ANOVA para la valoración económica.....	120

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1: Fotografía de un proveedor de ladrillos de 18 huecos en Huancayo	19
Figura 1.2: Mapa geográfico de la provincia de Huancayo.....	20
Figura 2.1: Ejemplo de secuencia de mezcla – ACI 523.3R-14.....	50
Figura 2.2: Composición y propiedades del concreto celular - ACI 523.3R-14	51
Figura 5.1: Agregado fino	77
Figura 5.2: Encostalado y lavado del agregado fino	77
Figura 5.3: Análisis granulométrico del agregado fino – Límites ASTM C33/C33 M-23 .	80
Figura 5.4: Imagen del molde para una tanda de 10 unidades	87
Figura 5.5: Gráfico de tendencia del comportamiento de la variabilidad dimensional.....	91
Figura 5.6: Gráfico de la tendencia del comportamiento del alabeo	93
Figura 5.7: Gráfico de la tendencia del comportamiento de la absorción.....	94
Figura 5.8: Gráfico de la tendencia del comportamiento del contenido de humedad	95
Figura 5.9: Gráfico de la tendencia del comportamiento de la densidad	97
Figura 5.10: Gráfico de la tendencia del comportamiento de la succión	98
Figura 5.11: Gráfico de la tendencia de la resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días .	101
Figura 5.12: Gráfico de la tendencia del comportamiento de cloruros solubles	103
Figura 5.13: Gráfico de la tendencia del comportamiento de sales solubles.....	104
Figura 5.14: Gráfico de la tendencia del comportamiento de sulfatos solubles.....	106
Figura 5.15: Gráfico de secuencia del proceso de fabricación	107
Figura 5.16: Gráfico de resultados de variación del tiempo de fabricación	109
Figura 5.17: Gráfico de resultados de variación del costo de producción	111

RESUMEN

La presente investigación realizó el estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, se formuló el problema: ¿Cuál es el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo?, se tuvo como objetivo: Determinar el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo. La metodología usada fue: el método científico, tipo básica, nivel explicativo y diseño experimental.

La investigación concluye que el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, se determina viable; y por recomendación para ampliar el presente estudio, pueden considerar otros tipos de factibilidad como: comercial, ambiental, política y legal, u otros; y a su vez evaluar las demás propiedades del concreto celular que no se consideraron en esta investigación.

Palabras claves: concreto celular espumoso, factibilidad, unidad de albañilería, viable.

ABSTRACT

The present investigation carried out the feasibility study of foamed cellular concrete as a masonry unit in the city of Huancayo, the problem was formulated: ¿What is the result of the feasibility study of foamed cellular concrete as a masonry unit in the city of Huancayo?, the objective was to: Determine the result of the feasibility study of foamed cellular concrete as a masonry unit in the city of Huancayo. The methodology used was: the scientific method, basic type, explanatory level and experimental design.

The investigation concludes that the result of the feasibility study of foamed cellular concrete as a masonry unit in the city of Huancayo, is determined viable; and by recommendation to expand this study, you can consider other types of feasibility such as: commercial, environmental, political and legal, or others; and at the same time evaluate the other properties of cellular concrete that were not considered in this research.

Keywords: foamed cellular concrete, feasibility, masonry unit, viable.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el aumento de la construcción de edificaciones hace que las unidades de albañilería tengan mucha demanda; cabe mencionar que en la ciudad de Huancayo se comercializan unidades de albañilería de arcilla o concreto, que generalmente suelen ser de calidad y cumplen con los estándares exigidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Pero si evaluamos la elaboración de las unidades de albañilería de arcilla, notamos que se produce desgaste prematuro de los suelos (canteras) de donde se extrae este mineral no metálico, y para las unidades de albañilería artesanales, en su mayoría la materia prima es de tierras de excelente calidad o de suelos que pueden ser destinados para fines de producción alimenticia; además del elevado consumo de agua, que de por sí ya es escaso en las zonas agrícolas. Después de ser creado artesanalmente, el producto se somete a un proceso de cocción en hornos que utilizan diésel, carbón mineral y leña vegetal como combustibles, obtenidos de la tala ilegal de árboles. Esta práctica no solo daña el entorno natural al depredar los recursos, sino que también contribuye a la contaminación del medio ambiente y del aire. Asimismo, debido a una mala cocción el producto terminado puede ser de pésima calidad. De los bloques de concreto si bien es cierto en su elaboración no afectan al medio ambiente, pero en su mayoría no cumplen con la calidad final, además que debido a su peso la manipulación es deficiente y la producción disminuye.

Considerando lo mencionado, se decide asignar a la investigación el título: “Estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo”, que busca dar solución a la incertidumbre que se tiene con respecto al uso del concreto celular y su aplicación en las unidades de albañilería para una futura comercialización, puesto que existen investigaciones con resultados muy variantes con respecto al comportamiento propio del concreto celular, y esto se debe a las condiciones climáticas, caracterización de agregados finos, agentes espumantes, generadores de espuma, método de mezcla, curado y secado; por lo que no se tiene la dosificación exacta de diseño para que la unidad de albañilería cumpla con todos los requisitos de calidad según la norma E.070. Así mismo, formar parte de la mitigación al problema ambiental y atmosférico que genera la producción de unidades de albañilería de arcilla.

En el desarrollo de la presente investigación, se revisa teorías que se relacionen al estudio de factibilidad de las unidades de albañilería, el análisis de las propiedades físicas,

mecánicas y químicas del concreto celular, diseños de mezcla de concreto celular, y todo que aporte para el cumplimiento del objetivo que es: Determinar el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo.

La importancia de esta investigación radica en su contribución a investigaciones futuras sobre el tema y en fomentar la utilización de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso para la construcción de futuras edificaciones.

La presente investigación está conformada por los capítulos siguientes:

Capítulo I.- En esta sección se muestra la descripción de la realidad problemática, formulación del problema general y específicas, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos de la investigación.

Capítulo II.- En esta parte se presenta los antecedentes internacionales y nacionales, las bases teóricas o científicas y el marco conceptual.

Capítulo III.- En este capítulo se presenta la hipótesis general y específicas, las definiciones conceptuales y operacionalización de las variables de la investigación.

Capítulo IV.- En esta parte se presenta la metodología de la investigación, el tipo, nivel de investigación, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, las técnicas para el procesamiento y el análisis de datos y los aspectos éticos de la investigación.

Capítulo V.- En este capítulo se presenta los resultados de la investigación, desde el diseño tecnológico, descripción de resultados y la contrastación de hipótesis.

Capítulo VI.- En esta sección se muestra el análisis y la discusión de los resultados con los antecedentes de referencia.

Por último, se presenta las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, matriz de consistencia, matriz de operacionalización de variables, matriz de operacionalización del instrumento, y anexos relevantes de la investigación.

Bach. Pierina Alessandra Gálvez Sanabria.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

A nivel internacional el hormigón celular se utiliza como material de construcción, en Europa, se estima que se construyen alrededor de 500.000 casas individuales cada año, mientras que, en países de América como México, Cuba, Chile, Argentina y Brasil, se han adquirido franquicias para la producción de hormigones celulares. Además, existen diversas empresas y estudios dedicados a la producción de hormigón celular para diferentes aplicaciones, como premezclado para láminas colaborantes, elementos prefabricados, muros, paneles y bloques de diferentes tamaños, ya sea prefabricados o contruidos in situ. También hay proveedores internacionales de máquinas, equipos y licencias para la producción de hormigón celular curado en autoclave con polvo de aluminio, como SIPOREX, que se encuentran en Europa, Asia, América, Japón, Corea del Sur y Australia. (Arbitto, 2016, p.15).

A nivel nacional, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), realizó los Censos Nacionales 2017 y reveló que 4 millones 298 mil 274 de viviendas particulares (55,8%) tienen en sus paredes exteriores como material predominante el ladrillo o bloque de cemento; 2 millones 148 mil 494 viviendas (27,9%) adobe o tapia; 727 mil 778 (9,5%) madera (pona, tomillo). Otros materiales que tienen las

viviendas son: triplay, calamina y estera (3,1%), quincha (2,1%), piedra con barro (1,0%) y piedra o sillar con cal o cemento (0,6%). Por lo que, la utilización de las unidades de albañilería (ladrillo o bloque de concreto) predominan con un 55.8% es decir, tiene mayor demanda y preferencia por el público peruano para la construcción civil de edificaciones. (<https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-pais-existen-mas-de-diez-millones-de-viviendas-particulares-censadas-10893/>)

Tanto en Lima como en provincias, las unidades de albañilería industriales o artesanales elaborados de arcilla, en su mayoría suelen ser de buena calidad y cumplen con los estándares exigidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE); pero en el proceso de elaboración se involucra un alto nivel de uso del agua, que es un recurso limitado o son exclusivos para zonas agrícolas; y la extracción de la materia prima son de tierras de excelente calidad, y esto ocasiona un alarmante deterioro prematuro de suelos, que naturalmente podrían utilizarse para la producción de alimentos; después son procesados mediante un sistema de cocción en hornos cuyo combustible principal es el diésel, carbón mineral y la leña vegetal que también son extraídos de la tala ilegal de árboles; provocando la depredación del lugar y promoviendo la contaminación atmosférica. (Pezo, 2016, p.11).

En el ámbito local, también existe mayor uso y comercialización de las unidades de albañilería industriales o artesanales elaborados de arcilla, seguidas de los bloques de concreto; y así mismo existe un gran desconocimiento de las propiedades y usos del concreto celular en la industria de la construcción, pese a que en Lima existe la empresa Bloques BHC considerada como la primera planta de hormigón celular en el Perú, que produce de manera industrial bloques de concreto celular de diferentes dimensiones, y así como esta empresa existen otras que están incorporando el concreto celular para la construcción de elementos estructurales y no estructurales, para estabilización de suelos, como entre piso impermeable, etc. Por ello, considerando que en la ciudad de Huancayo aun no existen empresas proveedoras de bloques o unidades de albañilería de concreto celular y considerando la gran problemática con respecto al proceso de la elaboración de las unidades de albañilería industriales o artesanales de arcilla, que no hace más que aumentar la

contaminación ambiental. Surge el objetivo de la investigación del presente trabajo, que busca determinar el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo.



Figura 1.1: Fotografía de un proveedor de ladrillos de 18 huecos en Huancayo

1.2 Delimitación del problema

1.2.1 Espacial

La delimitación espacial de esta investigación se establece específicamente en relación con las características y contextos de la ciudad de Huancayo, provincia de Huancayo, departamento de Junín.



Figura 1.2: Mapa geográfico de la provincia de Huancayo

1.2.2 Temporal

La investigación se llevó a cabo durante un período de 5 meses, comenzando en agosto y finalizando en diciembre de 2023.

1.2.3 Económica

La presente investigación está financiada por recursos económicos propios del investigador.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

¿Cuál es el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo?

1.3.2 Problemas Específicos

¿Cuál es la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo?

¿Cuál es la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo?

¿Cuál es la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo?

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social o práctica

Según Méndez Álvarez (2020), se considera cuando su proceso facilita la resolución de un inconveniente o sugiere enfoques que, al implementarse, podrían ayudar a solucionarlo.

Del presente proyecto de investigación radica un aporte a la sociedad con el incentivo de la utilización de las unidades de albañilería de concreto celular del tipo espumante en futuras construcciones de edificaciones, viviendas unifamiliares y multifamiliares, u otras infraestructuras; por su viabilidad en reducción de costos y ligereza al maniobrar, y en función a sus propiedades físicas y mecánicas que cumplan con los requisitos mínimos de la Norma Técnica E.070.

1.4.2 Justificación científica y teórica

Según Méndez Álvarez (2020), en el ámbito de la investigación, se establece una justificación teórica al buscar fomentar la reflexión y el debate académico en torno al conocimiento vigente, cuestionar una teoría, comparar resultados o analizar la epistemología del saber actual.

Con la presente investigación se pretende ampliar los conocimientos para las futuras generaciones que quieran utilizar o elaborar unidades de albañilería de concreto celular y puedan comparar los costos, beneficios y las propiedades físicas y mecánicas con otras unidades de albañilería.

1.4.3 Justificación metodológica

Según Bernal (2010), la justificación metodológica surge al implementar un método o estrategia innovadora con el fin de producir conocimiento válido y confiable, promoviendo la exploración de nuevas técnicas o enfoques para la generación de conocimiento. (pág. 26)

Con la presente investigación se dejará un legado metodológico en cuanto al instrumento de recolección de datos, el cual servirá como un antecedente que puede ser utilizado en futuras investigaciones, relacionadas con el uso del concreto celular.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo.

1.5.2 Objetivos Específicos

Estimar la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo.

Estimar la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo.

Estimar la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Barcia y Lindao (2020), en su tesis de pregrado con título *Estudio de factibilidad para la aplicación de bloques de concreto celular a edificaciones en la ciudad de Guayaquil*, para la Universidad de Guayaquil. Teniendo como objetivo de llevará a cabo un análisis de viabilidad del Concreto Celular Aireado (CCA) en la fabricación de bloques de tabiquería en Guayaquil. Se propone diseñar un bloque de concreto celular con una densidad de 500 kg/m^3 para realizar pruebas de rendimiento físico y mecánico, verificando su factibilidad a través de análisis de laboratorio conforme a normativas establecidas. La metodología empleada es cualitativa con un tipo de investigación aplicada, de nivel explicativo y diseño experimental que busca seguir una línea lógica de procesos. Las conclusiones reflejan un resumen detallado de las propiedades físico-mecánicas del Concreto Celular Autoclavado (CCA) con una densidad de 530 kg/m^3 . Los datos incluyen: densidad de 530 kg/m^3 , absorción del 47.13%, porcentaje de vacíos del 68%, resistencia a la compresión de 2.59 MPa, resistencia a la tracción de 0.39 MPa, módulo de rotura de 0.15 MPa, contracción lineal por secado del 0,836%, clasificación de resistencia al fuego A1, aislamiento acústico "Aw"

de 0,11 y conductividad térmica de 0,1693 W/mK. Estos datos confirman que las propiedades cumplen con los estándares establecidos por la ACI, lo que indica que el producto satisface los requisitos técnicos necesarios. En cuanto a la comparación de costos, se concluye que al levantar una pared por metro cuadrado con acabado, el costo del bloque de CCA es ligeramente superior al tradicional en un 11%. Sin embargo, este incremento en el costo se justifica debido a sus ventajas: mayor tamaño, facilidad para ser manipulado por una sola persona, comprobada capacidad de aislamiento acústico y excelente resistencia al fuego, pudiendo soportar hasta 3 horas de calor sin emitir humo ni partículas. incandescentes que puedan propagar el fuego. La instalación del bloque CCA en muros interiores o tabiques es viable para lograr acabados en la pared con un ahorro económico del 31%. Al analizar el cronograma de trabajo, se determina que hay una disminución significativa en el tiempo necesario para levantar paredes con bloques de CCA con acabados, que es de 12 días, en comparación con los 42 días requeridos para el bloque tradicional. Por lo tanto, la viabilidad del proyecto se ve favorecida por la implementación de esta programación.

Ahmed (2020), en su investigación que lleva por título *Impacto del hormigón celular esterilizado en autoclave (AAC) en la modernidad: Un estudio de caso en la nueva capital administrativa de Egipto*, para obtener el título de magíster en Ciencias en Ingeniería de la Construcción, presentada en la Universidad Americana de El Cairo, Facultad de Ciencias e Ingeniería. El objetivo de esta investigación es evaluar el impacto de los bloques AAC en el costo inicial de construcción, el medio ambiente, el consumo de energía y el confort térmico interior utilizando dos edificios diferentes de la Nueva Capital Administrativa de Egipto, un edificio comercial y otro residencial, como caso de estudio. La metodología se caracterizó por el método científico, el nivel es explicativo, del tipo aplicada, y con diseño experimental, con un análisis comparativo y una evaluación entre los sistemas de paredes de ladrillos de arcilla tradicionales y más comúnmente utilizados y los sistemas de paredes de bloques AAC mediante la evaluación de diferentes componentes de construcción, en algunos casos utilizando una combinación

de sistemas de paredes exteriores, estructura y materiales de acabado interior. Utilizo los instrumentos de recolección de datos mediante la revisión de la literatura para recopilar información sobre análisis similares y los métodos computacionales de los valores U y la mejor herramienta para el rendimiento térmico. De los resultados se tiene que el ahorro total en la edificación residencial se calcula en un 14,3% y comercial alrededor 9,4%. La investigación concluye en que los bloques AAC requieren menos mortero debido a que tienen menos juntas debido a que el tamaño del bloque es mayor, siendo mucho más duraderos que los ladrillos de arcilla y requieren menos tiempo; y con respecto al costo de construcción inicial de los bloques AAC es menor que el de los ladrillos rojos.

Martínez et. al (2023), desarrollaron la investigación para su tesis de pregrado con titulada *Concreto celular con espuma preformada y agregados ligeros*, y presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua. El propósito de la tesis fue crear combinaciones de concreto celular utilizando espuma preformada y materiales ligeros, con el fin de fabricar bloques de concreto siguiendo las especificaciones de la Norma Técnica Obligatoria de Nicaragua. La metodología de investigación se caracterizó por el método científico, de nivel explicativo, del tipo aplicada y con un diseño experimental. La composición de la población incluye seis tipos de hormigón (concreto), que están formulados con cemento, piedra volcánica pulverizada (piedra pómez), fibras de policarbonato (polietileno) y espuma producida mediante solución presurizada de Texapon N70 junto con agua. Se prepararon pruebas cúbicas y cilíndricas, las cuales fueron sombreadas en ambiente húmedo durante el período de curado y luego sometidas a pruebas de resistencia a la compresión hasta los 28 días. De los resultados obtenidos se tiene el resumen, de la muestra M1: resistencia a la compresión de 34.45 kg/cm² y una densidad de 902.808 kg/m³; de la muestra M2: resistencia a la compresión de 60.22 kg/cm² y una densidad de 1068.107 kg/m³; de la muestra M3: resistencia a la compresión de 46.05 kg/cm², densidad de 1009.021 kg/m³; para la muestra M4: resistencia a la compresión de 87.10 kg/cm², densidad de 1443.45 kg/m³, porcentaje de absorción de

27.03%, contenido de humedad de 6.97% y el porcentaje de vacíos de 39.01%; para la muestra M5: resistencia a la compresión de 73.80 kg/cm², densidad de 1292.77 kg/m³, porcentaje de absorción de 31.22%, contenido de humedad de 7.84% y el porcentaje de vacíos de 40.35%; para la muestra M6: resistencia a la compresión de 143.85 kg/cm², densidad de 1544.52 kg/m³, porcentaje de absorción de 25.48%, contenido de humedad de 6.74% y el porcentaje de vacíos de 39.34%. De las conclusiones se tiene que las mezclas M4 y M6 tienen resultados de resistencia a la compresión conforme a los valores exigidos por la Norma Técnica Nacional (NTC) 12 008-09, lo cual permite considerar su posible empleo en la fabricación de bloques estructurales tipos 2 y 1, respectivamente. Además, se menciona una relación positiva entre la densidad y la resistencia mecánica de ambas mezclas, significando que mayores niveles de densidad implican mayores capacidades mecánicas.

Yoc (2018), en su tesis de pregrado con el título *Fabricación y evaluación experimental de unidad de mampostería de concreto celular de espuma preformada*, presentada ante la Universidad de San Carlos de Guatemala. Su estudio tiene como objetivo, establecer una relación de componentes según lo indicado en el informe del comité ACI 523.3R-14, analizando las características fundamentales de las mezclas y realizando a cabo pruebas de laboratorio tanto en el concreto fresco como en el endurecido, siguiendo las directrices de los estándares NTG y ASTM; posteriormente, utilizando la mezcla que cumple con los requisitos, elaborar manualmente bloques de albañilería, evaluando su resistencia a la compresión y capacidad de absorción de agua. La metodología utilizada es científica, el nivel es explicativo, tipo de investigación aplicada, y con diseño experimental, con un análisis comparativo y enfoque cuantitativo. De los resultados, tiene que al emplear arena pómez, pedrín basáltico de 9,5 mm y espuma preformada en el ensayo, se logra producir un concreto con una densidad de 1240 a 1370 kg/m³ y una resistencia máxima en cilindros normalizados de 60, 16 kg/cm² a los 56 días de fraguado. Este material exhibe la fluidez y propiedades físicas necesarias para ser clasificado como un

concreto ligero celular a base de espuma preformada. De ello concluye, que con los materiales sugeridos se logró la producción de bloques, cuyas unidades de albañilería se encuentran un 17,85 % por debajo del requisito de resistencia a la compresión establecida en la normativa NTG 41054 para su clasificación en la clase C. Además, el índice de absorción está por debajo del límite del 22 %. La normativa ASTM C 1386-98 prioriza la densidad sobre la resistencia a la compresión; en este caso, se clasificaría como PAAC-4 con una resistencia a la compresión superior a 50,98 kg/cm², pero no cumple con los requisitos de densidad que oscilan entre 750 y 850 kg/m³.

De Oliveira et. al (2018), en su artículo científico que lleva por título *Influencia del aditivo de espuma en la dosificación y propiedades del hormigón celular*, Brasil. El estudio que realizó, investiga el impacto de distintas cantidades de un aditivo espumante en las propiedades de diferentes hormigones autocompactantes (SCC); y evaluó la dosis del aditivo en función de la densidad y la resistencia del hormigón. La formación de burbujas de aire se logró mediante la acción mecánica del mezclador, denominando al hormigón resultante CBAM. En su metodología, empleó un enfoque cuantitativo, definiendo nueve composiciones de CBAM con variadas dosificaciones de aditivos, incluyendo 16 diseños con diferentes cantidades de aditivo espumante, 5 diseños con árido proveniente de la mina Avathar, y 11 diseños con mezclas de árido liviano Chasqui reemplazando el 5%, 10%, 15% y 60% en peso del árido original. De los resultados, llegó a la conclusión que en la combinación de solo árido Avathar y del árido más chasqui, se tiene que en un 41,3% de espuma, la resistencia es baja a 13,05 kg/cm² y la densidad es de 1,73 gr/cm³. Sin embargo, al aumentar al 50.5% de espuma, la resistencia disminuye a 0 kg/cm² debido a la falta de adherencia del concreto, resultando en un logro efectivo de la mezcla. Por lo tanto, se sugiere restringir el nivel de sustancia agregada, estimando un límite máximo del 28.4% por volumen. Además, los análisis estadísticos de los diferentes CBAM confirmaron la normalidad de los resultados de las densidades aparentes en estado fresco y revelaron una mayor variabilidad en los

resultados con dosis más altas de aditivos, atribuida a la falta de uniformidad en la composición.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Rojas (2020), en su tesis de pregrado con título: *Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural*, presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Con el objetivo de Desarrollar la composición de una mezcla para producir concreto liviano mediante la incorporación de un aditivo espumante y cemento Portland tipo I destinado a ser utilizado en elementos de albañilería no estructural en Lima. Para este proceso de diseño, se basó en la guía ACI 523.3R como referencia bibliográfica y empleó un aditivo espumante que produce espuma durante la mezcla, resultando en una consistencia más fluida y una menor densidad, manteniendo un tiempo de mezcla constante. Empleó una metodología cuantitativa, del tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental y para la población y muestra, elaboró cubos de concreto ligero de 10 centímetros por lado, para cada diseño. Seleccionó el mejor diseño y fabricó bloques de hormigón leve, analizando sus propiedades de resistencia a la compresión, densidad, absorción, contenido de vacíos y contenido de humedad conforme a la NTP. De los resultados concluye que la dosificación óptima para el bloque de concreto ligero es C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$), porque obtuvo: la densidad promedio de 1390 kg/m^3 , la resistencia a la compresión promedio de 4.10 MPa , la absorción promedio de 256.46 kg/m^3 ; de las medidas dimensionales estándar (39, 9 y 19) cm, obtuvo que la variabilidad promedio de 10 bloques es: largo 1.1 mm, ancho -0.4 mm y altura -0.7 mm. Así mismo, según los datos proporcionados, la comparación entre el muro acabado de bloque de concreto ligero y el muro acabado de ladrillos King Kong 18 huecos revela que el primero es aproximadamente 42% más liviano (en relación al peso por metro cuadrado) y también es 31% más económico en términos de costo por metro cuadrado. Por lo tanto, tiene como conclusión

final, que la implementación del bloque de concreto ligero en construcciones ofrece un ahorro en costo y tiempo debido a sus características menor peso y precio unitario. Además, se destaca que las estructuras realizadas con este material presentan mejoras en las propiedades térmicas y acústicas respecto a las estructuras tradicionales.

Huaman y Villanueva (2020), en su tesis de pregrado titulada *Análisis de las propiedades mecánicas de un bloque de albañilería para muros portantes con concreto celular en Lima 2020*, presentado a la Universidad Cesar Vallejo. Donde su principal objetivo es destacar las propiedades mecánicas del bloque de albañilería de concreto celular ligero (CCL) para su aplicación en sistemas de albañilería confinada y porticada. Utilizó una metodología aplicada de enfoque cuantitativo, y diseño experimental para llevar a cabo ensayos, incluyendo el ensayo de fluidez según la normativa ASTM C1611M, donde se verificó la adecuada consistencia de la mezcla a base de cemento portland tipo 1, agua, arena fina, humo de sílice, agente espumante y aditivo superplastificante y elaboró bloques macizo de (14 x 19 x 39) cm; después realizó pruebas de conductividad térmica en tres muestras, obteniendo un valor de 0.254 w/mk, y logró un aislamiento acústico de 22 dB en una muestra de 100 mm de diámetro. Además, llevó a cabo ensayos de resistencia a compresión axial ($f'm$) y compresión por corte diagonal ($V'm$), mostrando resultados distintivos en comparación con el hormigón convencional y ladrillos artesanales; obteniendo el valor de $f'm$ de 47.8 kg/cm², representando una disminución del 35.4% respecto a la capacidad del bloque P y un aumento del 27% en comparación con los ladrillos artesanales tipo I. El valor promedio de $V'm$ (murete) fue de 7,4 kg/cm², con una disminución del 14% frente al bloque tipo P y un incremento del 31,2% en relación con los ladrillos artesanales. Por conclusión, determina que el diseño B con la relación a/c de 0.40 y de densidad a 1100 kg/m³, sobrepasó los mínimos requerimientos del RNE-E.070 para bloques P con una resistencia máxima alcanzada de 52.3 kg/cm² y es adecuado para uso estructural; mientras que el diseño A con la relación a/c de 0.56 y densidad a 1200 kg/m³ alcanzo una resistencia de 45.3 kg/cm² siendo 15.5% menor al diseño B.

Aviles y Carrera (2023), en su tesis de pregrado titulada *Aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular*, presentado a la Universidad Ricardo Palma. Su investigación tiene como objetivo: mejorar las características físico-mecánicas del concreto celular a través del análisis de los aditivos espumantes y se llevó a cabo utilizando el método científico con un enfoque aplicado y cuantitativo. El estudio se desarrolló a nivel descriptivo, explicativo y correlacional, empleando un diseño experimental longitudinal, retrospectivo y de cohorte. De los resultados se tiene un incremento en el asentamiento del concreto en un rango de 0.13% a 0.35% de aditivo espumante, con valores oscilando entre 230 mm y 310 mm. Además, registró una reducción en la densidad desde 1988,1 kg/m³ a 1418,4 kg/m³. Respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días, tiene una disminución al agregar aditivo espumante al 0.10%, 0.30% y 0.50%, alcanzando valores de 5.24 MPa, 2.65 MPa y 3.90 MPa respectivamente. Asimismo, identificó una relación directa entre la conductividad térmica y la densidad, mostrando valores de 0.129 W/mK con un 0.05% de aditivo espumante y 0.052 W/mK con un 0.40% de aditivo espumante. Los investigadores concluyeron que, al aumentar la cantidad de aditivo espumante en el concreto celular, se puede aumentar el asentamiento, reducir la densidad, disminuir la resistencia a la compresión y establecer una relación entre la densidad y la conductividad térmica; y para el uso en unidades de albañilería mediante bloques, es crucial que la densidad del concreto celular se sitúe entre 800 kg/m³ y 900 kg/m³. Puesto que al emplear un 0,10% de aditivo espumante, se obtiene una densidad de 808 kg/m³, dentro del rango requerido. Esto impulsa a investigar las propiedades mecánicas del concreto celular al agregar aditivos espumantes en porcentajes superiores al 1% de manera experimental, enfocándose en analizar la absorción de agua con distintos tipos de agregados finos en entornos de climas fríos.

Marca (2023), en su tesis de pregrado titulada “*Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes*”, presentado a la Universidad

Tecnológica de los Andes. Su investigación tiene como objetivo: llevar a cabo un análisis de las propiedades físico-mecánicas de bloques de concreto celular fabricados con detergente aniónico para su uso en muros no portantes, siguiendo los estándares establecidos por la normativa E.070 de albañilería. Utilizó una metodología inductiva y cuantitativa, con un enfoque exploratorio y correlacional, junto con un diseño experimental. Realizó pruebas y los comparó con los bloques de concreto convencionales; y obtuvo resultados, donde muestra que los bloques de concreto celular tuvieron una variación dimensional mínima del 0.1%, en comparación con el 1% de los bloques; en cuanto al alabeo se obtuvo 0.2 mm, mientras que las bloques mostraron 3.29 mm; respecto a la absorción, las bloques registraron un 9.14%, mientras que los bloques de concreto celular alcanzaron un 13.62%. y en la resistencia a la compresión lograron un 24,26 kg/cm², superando el mínimo requerido de 20 kg/cm² para muros no portantes. Por tanto, el investigador concluye que el bloque de concreto celular presenta ventajas notables en cuanto al alabeo y su estabilidad dimensional, lo que sugiere una mayor uniformidad y estabilidad en su uso estructural. Aunque se observa una disminución de la resistencia, en comparación con los bloques de concreto convencionales, cumplen satisfactoriamente son lo establecido en la norma E.070 albañilería para muros no portantes. Este hallazgo confirma la viabilidad y conveniencia de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico como una opción técnica adecuada y segura para la construcción de muros no portantes. Además, esta innovación podría tener un impacto significativo en la eficiencia y sostenibilidad de la industria de la construcción al ofrecer una alternativa prometedora.

Jorge (2023), en su tesis de pregrado titulada *Incidencia del jabón líquido en sus propiedades mecánicas y termoacústicas del bloque de concreto celular, como unidad de albañilería no estructural para la ciudad de Ayacucho*, que presentó a la Universidad Tecnológica de los Andes. Tiene como objetivo: evaluar cómo se comportan las propiedades mecánicas y termoacústicas de los bloques de concreto celular fabricados con jabón líquido, con el propósito de emplearlos como elementos de albañilería no

estructural. Uso la metodología cuantitativa del método científico, el tipo es aplicada, nivel descriptivo y el diseño es cuasiexperimental; para la población y muestra utilizó 120 unidades de bloques de 10 x 10 x 10 cm y 16 bloques de 10 x 25 x 50 cm respectivamente. De los resultados que obtuvo, indican que la dosificación óptima es con una densidad de 1250 kg/m³, resultando una resistencia a compresión de 3.85 MPa o 39.259 kg/cm². La conductividad térmica se sitúa en 0.36 a 0.39 Km/W, por lo que se encuentra en el rango según la guía ACI 523.3R-14(2014). En relación al comportamiento acústico, al comparar con los datos de Bloques Perú, cuyos bloques tienen aislamiento acústico de 37 db con una densidad de 800 kg/m³; mientras que los suyos tienden de 13.9 a 14.5 db con una densidad promedio de 1250 kg/m³, lo que confirma un buen nivel de aislamiento acústico acorde a su densidad. Así mismo realizó una valoración económica del costo total de un bloque de concreto celular elaborado con jabón líquido, el cual le dio como resultado un costo de S/. 13.61, sin embargo, en comparación a la empresa Bloques Perú, que distribuye sus bloques a un costo de S/. 10.59, haciendo una diferencia de S/. 3.02, por lo cual concluye que la sus bloques tiene un sobrecosto respecto a los bloques de concreto celular elaborado de manera industrial, sin embargo, al ser elaborados de manera artesanal se eleva su costo ya que la cantidad producida es limitada.

2.2 Bases Teóricas o científicas

2.2.1 Factibilidad

La factibilidad es un análisis preliminar para determinar la viabilidad y oportunidad de tener lugar un proyecto, tanto en el ámbito empresarial y/o comercial. En contexto de un proyecto de ingeniería civil, la factibilidad se alude a la capacidad técnica, económica, operativa y de mercado del proyecto. (Villavicencio, 2012, “Que es un estudio de factibilidad”, párr. 3)

Para evaluar la factibilidad de un material de construcción se deben considerar varios aspectos, entre ellos:

- Viabilidad técnica: Se alude a la capacidad del material para cumplir con los requisitos técnicos mínimos para su aplicación o uso en la construcción, como: resistencia, durabilidad, estabilidad, y otros.
- Disponibilidad: Se refiere a la facilidad de acceso y suministro del material para el proyecto.
- Costo: Se refiere al precio del material y su impacto en el presupuesto de un proyecto.
- Impacto ambiental: Se alude a los efectos del material en el medio ambiente, desde su extracción, producción, transporte y eliminación.
- Adecuación para el fin deseado: Se refiere a la capacidad del material para cumplir con los requisitos específicos del proyecto, como: estética, funcionalidad, y otros.
- Regulaciones y normativas: Se alude a las leyes y regulaciones que rigen el uso del material en la construcción.

2.2.1.1 Estudio de factibilidad

El estudio de factibilidad es una herramienta analítica que permite evaluar la viabilidad de un proyecto. Enfocando en la ingeniería civil, este implica evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto o material. Para medir este estudio se utiliza una variedad de herramientas y métodos, como: análisis de costos, estudios de mercado, evaluación de impacto ambiental, pruebas de laboratorio, entre otros. Por lo que es primordial tener en cuenta la disponibilidad de materias primas, la demanda del material, los costos de producción o fabricación, y los posibles impactos en el entorno. (Quiroa, 2020, “Estudio de factibilidad”, párr. 3).

La viabilidad de un material de construcción se determina por medio de un modelo de trabajo técnico y de esta manera evaluar si es viable y funcional su uso en un proyecto. Se incluye algunos los aspectos a considerar como: el análisis de transporte, materiales, mano de obra, ubicación física, herramientas tecnológicas necesarias y costos relacionados con mantenimiento y operación de ser necesario. Este análisis preliminar es base

para verificar o medir el nivel de factibilidad. (Quiroa, 2020, “Estudio de factibilidad”, párr. 3).

2.2.1.2 Nivel de factibilidad

Para medir el nivel de factibilidad de un material de construcción, se debe evaluar la capacidad de cumplir con los requisitos y expectativas en términos de: rendimiento, durabilidad, costo y otros aspectos relevantes; para ello se pueden seguir los siguientes pasos:

- Identificar los criterios de factibilidad: Establecer los criterios de factibilidad que se aplicarán al material, como rendimiento, durabilidad, costo, facilidad de manipulación, etc.
- Evaluar el rendimiento: Determinar si el material cumple con los requisitos de rendimiento específicos para su aplicación, como resistencia a la compresión, tensión, flexión, etc.
- Evaluar la durabilidad: Determinar si el material puede resistir el tiempo y las condiciones ambientales en las que se utilizará, como humedad, temperatura, exposición al sol, etc.
- Evaluar el costo: Calcular el costo total de vida del material, incluyendo el costo de adquisición, mantenimiento y reemplazo, para determinar si es factible en términos económicos.
- Evaluar la facilidad de manipulación: Determinar si el material es fácil de manipular y trabajar, tanto en el proceso de fabricación como en el proceso de instalación o uso final
- Evaluar los riesgos: Identificar y evaluar los riesgos asociados al uso del material, como riesgos de seguridad, medio ambientales o de calidad.
- Comparar con otros materiales: Comparar el material en cuestión con otros materiales similares o alternativos, en términos de rendimiento, durabilidad, costo y otros criterios de factibilidad.
- Considerar la disponibilidad: Determinar si el material está disponible en el mercado y si se puede obtener en cantidades suficientes para cumplir con las necesidades del proyecto.

- Considerar la compatibilidad: Determinar si el material es compatible con otros materiales o sistemas que se utilizarán en el proyecto, y si no presenta riesgos de incompatibilidad.
- Considerar la adaptabilidad: Determinar si el material puede adaptarse a las necesidades específicas del proyecto y si se puede adaptar a cambios en las condiciones ambientales o de uso.

Medir el nivel de factibilidad de un material es fundamental para tomar decisiones informadas sobre su uso en un proyecto y para garantizar que el material cumpla con los requisitos y expectativas en términos de rendimiento, durabilidad, costo y otros aspectos relevantes.

2.2.1.3 Tipos de factibilidad

Para realizar un estudio de factibilidad de un material, es necesario tener en cuenta los siguientes tipos:

a) Factibilidad técnica

Se refiere a la capacidad que tiene el material para ser utilizado en la construcción y este debe cumplir con los requisitos y estándares necesarios, de manera que permita tomar decisiones informadas y garantizar la seguridad y calidad en la construcción. Esta factibilidad se basa en la evaluación de diversos aspectos, como:

- Propiedades mecánicas: Las propiedades mecánicas del material, como la resistencia a la compresión, la tracción y la flexión, son fundamentales para determinar su capacidad de resistir tanto cargas como tensiones.
- Resistencia: La resistencia del material a la deformación ya la ruptura es crucial para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura.
- Durabilidad: La durabilidad del material es importante para garantizar que pueda resistir el tiempo y las condiciones ambientales.

- **Compatibilidad con otros materiales:** La compatibilidad del material con otros materiales utilizados en la construcción es esencial para garantizar la estabilidad y la integridad de la estructura.
- **Regulaciones y estándares:** Es importante verificar si el material cumple con los parámetros y estándares establecidos por las autoridades reguladoras y las normas de construcción.

b) Factibilidad operativa

Se relaciona con el personal involucrado para ejecutar y cumplir con los objetivos propuestos en el proyecto o con respecto a un material de estudio, en un determinado tiempo y espacio. Para desarrollarlo y tener un buen término de producto o proyecto; se analiza las competencias laborales necesarias, y para ello se tiene que implementar un sistema de evaluación.

c) Factibilidad económica

En cuanto a la factibilidad económica, es esencial llevar a cabo un análisis detallado de la relación entre los costos y beneficios del emprendimiento o proyecto, considerando ambos aspectos. Si al evaluar se determina que los costos exceden a los beneficios, sería más conveniente no proceder con su desarrollo. Por otro lado, si los beneficios superan a los costos, la decisión de llevar a cabo el proyecto se vuelve menos arriesgada, aunque esto no garantiza la ausencia de riesgos.

Al evaluar la factibilidad de un material de construcción, es fundamental considerar varios factores económicos, tales como:

- **Costo del material:** Incluye el precio de adquisición del material, los costos de transporte y almacenamiento, así como los posibles costos asociados a su manipulación e instalación.

- Rentabilidad: Se refiere a la capacidad del material para generar beneficios económicos a lo largo de la vida útil del proyecto, considerando su durabilidad y mantenimiento.
- Impacto en el presupuesto del proyecto: Es crucial evaluar cómo el costo del material afectará el presupuesto global de la construcción, asegurando que sea sostenible y no genere desviaciones significativas.
- Disponibilidad de alternativas: Es importante considerar si existen materiales con características similares a un costo más bajo, lo que podría impactar la selección del material más adecuado desde un punto de vista económico.

d) Factibilidad comercial

Ahora, en la parte comercial se determina si existe una potencial posibilidad que exista un número adecuado de clientes. Estos clientes deben estar dispuestos a consumir o utilizar los productos que el negocio o proyecto permitirá ofrecer al mercado. Además, se evalúa la logística de distribución y comercialización para saber si se adecúa a las necesidades del mercado.

e) Factibilidad política y legal

En esta etapa se comprueba si el tipo de empresa o proyecto que se va a desarrollar cumple con todas las leyes y regulaciones municipales, estatales y globales. Si no cumple con estas disposiciones legales, no se puede llevar a cabo ya que no sería viable.

Al evaluar la factibilidad de un material de construcción, es fundamental considerar varios factores legales, entre ellos:

- Regulaciones y normativas: Se refiere a las leyes y regulaciones que rigen el uso del material en la construcción, como códigos de construcción, normas de seguridad y medio ambientales, entre otros.

- Permisos y licencias: Se refiere a los permisos y licencias necesarios para la extracción, producción, transporte y uso del material, así como a las condiciones que deben cumplirse para obtenerlos.
- Responsabilidades legales: Se refiere a las responsabilidades legales que surgen de la utilización del material en la construcción, como responsabilidades civiles, penales y ambientales.
- Contratos y acuerdos: Se refiere a los contratos y acuerdos que rigen la relación entre los involucrados en el proyecto, como proveedores, contratistas y clientes.

f) Factibilidad de tiempo

La factibilidad de tiempo determina si el cronograma previsto para ejecutar el proyecto se ajusta al tiempo real requerido para su implementación.

2.2.2 Unidad de albañilería de concreto celular espumoso

2.2.2.1 Unidad de albañilería

Las unidades aplicadas en las construcciones de albañilería son mayormente de arcilla (cerámicas), arena-cal (sílico-calcáreo) y de concreto. Estas unidades se clasifican como ladrillos o bloques dependiendo de su tamaño. Puesto que los ladrillos son manipulados y asentados con solo una mano; mientras que los bloques, se emplean ambas manos, por su peso y dimensiones.

- La Norma Técnica E.070: Albañilería, define que las unidades de albañilería se clasifican como sólida, hueca, alveolar ó tubular; referidas a los ladrillos y bloques, que en su elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, ya sea de manera artesanal o industrial.
- Las unidades de albañilería de concreto pueden ser utilizadas después de lograr o superar su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica; y

en el caso de ser curadas con agua, el plazo mínimo es de 28 días para poder ser utilizadas.

2.2.2.1.1 Tipos de unidad de albañilería

a) Unidad de Albañilería Alveolar

Es la unidad de albañilería sólida o hueca, con alvéolos o celdas de tamaño adecuado para albergar refuerzos verticales; utilizado en la edificación de paredes reforzadas.

b) Unidad de Albañilería Apilable

Es aquella unidad de albañilería alveolar, que no necesita de mortero.

c) Unidad de Albañilería Hueca

Elemento de construcción de albañilería que, en cualquier corte paralelo a su base, presenta una sección transversal con un área inferior al 70% del área total en ese mismo plano. Estas unidades, que cuentan con perforaciones horizontales, se emplean principalmente en tabiques no destinados a soportar cargas significativas.

d) Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza)

Unidad de albañilería que tiene una sección transversal que, en cualquier plano paralelo a su superficie de asiento, ocupa al menos el 70% o más, del área total en ese mismo plano.

2.2.2.1.2 Propiedades de la unidad de albañilería

a) Propiedades físicas

Las propiedades físicas de la unidad de albañilería que se evalúan según la normativa técnica peruana son:

- **Variación Dimensional:** Para determinar la variabilidad dimensional de las unidades de albañilería, se usará el procedimiento indicado según la Norma NTP 399.604.
- **Alabeo:** Para determinar el alabeo de las unidades de albañilería, se usará el procedimiento indicado según la Norma NTP 399.613.
- **Absorción:** Para el ensayo de absorción se realizará de acuerdo a lo indicado en la Norma NTP 399.604. La fórmula para el cálculo de la absorción es:

$$\text{Absorción (kg/m}^3\text{)} = [(W_s - W_d) / (W_s - W_i)] \times 1000$$

$$\text{Absorción (\%)} = [(W_s - W_d) / W_d] \times 100$$

Donde:

W_s = peso saturado del espécimen, (kg)

W_i = peso sumergido del espécimen, (kg)

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

- **Contenido de humedad:** Los ensayos de contenido de humedad se harán acorde a lo suscrito en la Norma NTP 399.604. La fórmula para el cálculo del contenido de humedad es:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = [(W_r - W_d) / (W_s - W_d)] \times 100$$

Donde:

W_r = peso recibido de la unidad, (kg)

W_d = peso seco al horno de la unidad, (kg)

W_s = peso saturado de la unidad, (kg)

- **Succión:** Los ensayos de succión se harán acorde a lo suscrito en la Norma NTP 399.613. La fórmula para el cálculo de la succión es:

$$\text{Succión (g/cm}^2\text{)} = [(W_s - W_r) / (L \times A)] \times 200$$

Donde:

W_r = peso recibido de la unidad, (g)

W_s = peso saturado de la unidad, (g)

L = largo, (cm)

A = ancho, (cm)

- **Densidad:** Para ensayos de densidad se realizarán acorde a lo suscrito en la Norma NTP 399.604. La fórmula para el cálculo de la densidad es:

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = [W_d / (W_s - W_i)] \times 1000$$

Donde:

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

W_s = peso saturado del espécimen, (kg)

W_i = peso sumergido del espécimen, (kg)

b) Propiedad mecánica

La propiedad mecánica de la unidad de albañilería que se evalúa según la normativa técnica peruana es:

- Resistencia a la Compresión: Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, los ensayos se ejecutarán acorde a lo suscrito en la Norma NTP 399.604.

c) **Propiedades químicas**

Las propiedades químicas de un material de estudio para la construcción, deben ser controladas y reguladas según la normativa técnica peruana, las principales a considerar son:

- Cloruros solubles: Para la determinación del contenido de cloruros solubles de las unidades de albañilería, se usará el procedimiento suscrito en la Norma NTP 339.177.
- Sales solubles: Para la determinación del contenido de sales solubles de las unidades de albañilería, se usará el procedimiento suscrito en la Norma NTP 339.152.
- Sulfatos solubles: Para la determinación del contenido de sulfatos solubles de las unidades de albañilería, se usará el procedimiento suscrito en la Norma NTP 339.178.

2.2.2.2 Concreto celular

El concreto celular, también llamado hormigón celular, se define a los hormigones cuya densidad varía de 320 a 1920 kg/m³ y con resistencias variables que depende a su aplicación, es un producto ligero compuesto por cemento Portland y/o materiales finos de sílice, como arena, escoria o cenizas volantes; que al mezclarse con agua forman una pasta que se caracteriza por tener una estructura de células vacías homogéneas y estas células de aire se crean principalmente a través de la inclusión de vacíos que son generadas principalmente mediante una reacción química. (ACI 523.3R-14)

El concreto celular fue desarrollado por el arquitecto sueco J.A. Erikson a promedio del año 1927, quien buscaba un material para la construcción de tenga baja densidad, aislante térmico y aislante acústico. El hormigón celular es un material de construcción conocido como concreto aireado, en Europa como “concreto gas” y “concreto espuma”; este tipo de concreto es destinado a la construcción de elementos livianos orientados para obras gruesas, consiste principalmente en agua, áridos finos, cemento y

burbujas minúsculas de aire dispersas dentro de su composición, donde el material resultante de la mezcla presenta características homogéneas debido a los millones de micro células de aire contenidas en él. Además, este material posee propiedades mecánicas, térmicas y acústicas superiores, así como una baja densidad. (Cervantes Abarca, Nuevas Tecnologías en Concretos, CYAD, México, 2008)

2.2.2.2.1 Tipos de concreto celular

Según Cervantes, 2008, menciona que existen algunas de las variedades del hormigón celular. (p. 145)

a) Concreto 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 conseguir esa consistencia celular.

b) Concreto celular con agregados ligeros

Es el concreto donde se emplea piedra pómez, tezontle u otros materiales en lugar de la arena en la mezcla, siendo crucial que estos componentes sean altamente duraderos para mejorar la resistencia a la compresión.

c) Concreto celular con agregados expansivos

Es el concreto donde añadiendo estos aditivos ha mostrado ser efectivo para mantener la humedad durante la curación del concreto en climas calientes. Además, son apropiados como medio de protección contra incendios para las estructuras metálicas.

d) Concreto celular con aditivos dispersantes

Es el concreto donde los aditivos dispersantes ayudan a exponer las partículas del cemento a la hidratación y mejorando la resistencia a la compresión; así mismo se logra una mayor fluidez, lo cual permite un manejo más fácil y eficiente del concreto.

e) Concreto celular arenado

Es el hormigón que está compuesto por cemento, agua, aditivo (agente seleccionado para generar burbujas) y arena cuyo diámetro máximo sea de 4 milímetros. Es también llamado concreto celular espumoso; donde la creación de los alvéolos en el interior del concreto se logra al agregar un agente espumante a la mezcla, el cual genera espuma con burbujas de aire mediante agitación. Al fraguar la mezcla, estas burbujas quedan atrapadas formando micro células aisladas entre sí. Aunque varios productos espumantes pueden cumplir esta función, la presencia de agua y el proceso de mezcla pueden disminuir la tensión superficial y romper las burbujas. Entre los agentes espumantes utilizados se encuentran detergentes, jabones resinosos, colas animales o vegetales, saponina, sulfo-ácidos de la naftalina, resinas vinílicas y proteínas hidrolizadas. La disponibilidad de agentes espumantes es crucial en el mercado nacional, por lo que se han realizado pruebas con diversos productos para garantizar la durabilidad de las burbujas hasta que el concreto se endurezca. Los resultados fueron favorables con el TEC 247 y Comperlan, los cuales serán evaluados en términos del tiempo de generación de espuma (tiempo de agitación) y la estabilidad de la espuma durante el mezclado y endurecimiento del concreto. En la producción de concretos celulares, el proceso de mezcla es fundamental para la calidad del producto final. La duración del mezclado impacta directamente en la resistencia y densidad del concreto; a mayor tiempo de mezcla, menor densidad. Además, las características de las mezcladoras, como su velocidad de rotación y diseño de paletas,

influyen en las propiedades del concreto elaborado en función de la calidad de la mezcla obtenida. (Arbitro Contreras, Cuenca, 2016).

2.2.2.2.2 Componentes del concreto celular

a) Cemento portland tipo I

El cemento se obtiene de la molienda del Clinker producido por la calcinación de los materiales sílicos-calcáreos y arcillosos. El cemento portland tipo I es de color grisáceo que se presenta en sacos y al ser mezclado con agua, forma una estructura sólida y duradera; es de uso general en la construcción y no tiene propiedades específicas. (Harmsen ,2002).

b) Agregado fino

Los áridos finos son los elementos inertes del hormigón, ya que el no interfiere en las reacciones químicas entre el cemento y el agua. El agregado fino debe ser durable, limpio y duro y libre de impurezas como polvo, arcilla, limo, esquisto, álcalis y materia orgánica. No debe contener más de 5% de arcilla o limo y no mayor del 1.5% de materia orgánica. Su tamaño de partícula debe ser a $\frac{1}{4}$ " menor y su granulometría debe cumplir con los requisitos propuestos en la norma ASTM-C-33. 99A. (Harmsen ,2002).

c) Agua

El agua es un factor fundamental en la preparación del hormigón, el cual está relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del hormigón endurecido. (Niño.2010).

Agua para uso en la preparación de hormigón. debe estar limpio y libre de aceites nocivos, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan dañar al hormigón o al acero si existe alguna duda sobre la calidad del agua utilizada para preparar la

mezcla de hormigón, se debe realizar un análisis químico de la sustancia, para comparar los resultados con los valores máximos permisibles de sustancias en el agua utilizada en la preparación del hormigón.

La norma peruana estipula requisitos para el uso del agua y sobre contenidos perjudiciales en el agua de acuerdo con la Norma Técnica Peruana 339.088 (NTP 339.088).

d) Espuma preformada

Según (ACI 523.3R-14), la espuma preformada se produce al mezclar un agente espumante líquido con agua en cantidades específicas y al pasar esta combinación por un generador de espuma. Normalmente, la densidad de la espuma preformada oscila entre 2,0 y 5,0 lb/ft³ (32 y 80 kg/m³). (p. 3)

El concentrado de espuma requiere una fórmula química que genere y conserve células de aire estables capaces de resistir las fuerzas físicas y químicas presentes durante la preparación, el traslado y el fraguado del concreto. Si la estructura celular se debilita, existe el riesgo de que se rompa durante estos procesos, lo que podría aumentar la densidad del concreto. (p. 3)

ASTM C796/ C796M y C869/C869M contienen procedimientos para evaluar concentrados de espuma utilizados para producir una mezcla de espuma preformada estándar. Las formulaciones patentadas de concentrado de espuma más utilizadas contienen hidroxilatos de proteínas o tensioactivos sintéticos. (p. 3)

2.2.2.2.3 Diseño de mezcla del concreto celular

Según (ACI 523.3R-14), al igual que las mezclas de hormigón de peso normal, las cantidades de materiales utilizados para preparar mezclas adecuadas de hormigón celular deben seleccionarse de forma racional. Al

comprender los parámetros de diseño y las propiedades individuales de los materiales en el lote de prueba, los cálculos basados en el volumen absoluto de los componentes son sencillos y proporcionarán una estimación razonable. Los parámetros de interés para el hormigón celular incluyen la densidad del producto moldeado, la densidad seca al aire, la resistencia a la compresión y las propiedades térmicas. A diferencia del hormigón de peso normal, la relación a/c del hormigón celular sólo se puede ajustar dentro de un rango relativamente estrecho de 0,45 a 0,60 para garantizar la estabilidad interna de la estructura celular.

a) Mezcla de concreto celular:

Según (ACI 523.3R-14), el concreto celular debe mezclarse de forma mecánica para producir uniformidad en la distribución de materiales en el nivel especificado densidad del producto fundido. Se debe evitar una mezcla excesiva, ya que puede provocar cambios de densidad y consistencia. Se deben establecer secuencias específicas de dosificación y mezclado. Primero se añade al mezclador agua y aditivos solubles en agua, seguido por el cemento, los agregados y otros aditivos. Todos los ingredientes excepto la espuma preformada, que se agrega al final, debe mezclarse hasta obtener una consistencia uniforme. Esta secuencia minimiza la destrucción de las células de gas:

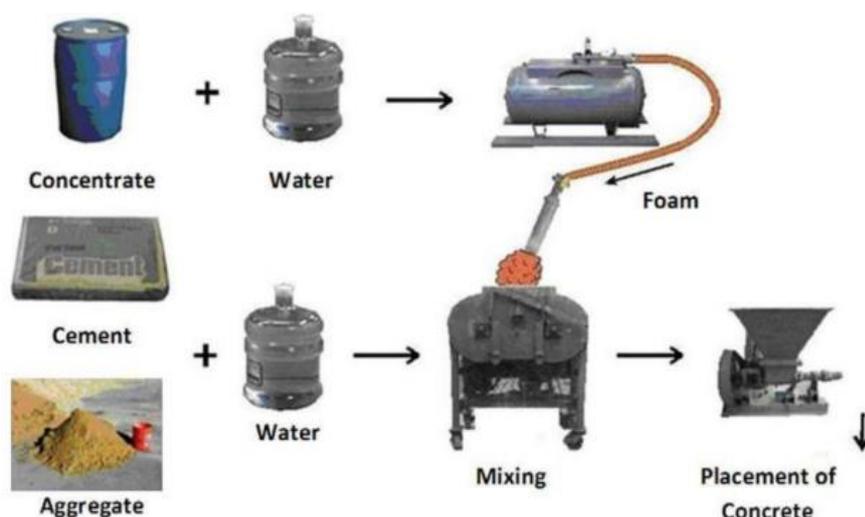


Figura 2.1: Ejemplo de secuencia de mezcla – ACI 523.3R-14

b) Proporciones de la mezcla:

Según (ACI 523.3R-14), la dosificación de la mezcla comienza con la selección de la densidad del hormigón celular recién colado y a/cm. Estos parámetros generalmente se eligen después de un estudio de requisitos, como la resistencia a la compresión y la conductividad térmica. Si f_c' es la consideración principal y la densidad es secundaria, seleccione la densidad del producto fundido gf de la tabla 2.2 o calcúlela usando la ecuación para el cálculo de mezcla:

Table 6.2.1—Composition and properties of cellular concrete (McCormick 1967)

As-cast density, lb ft ³ (kg/m ³)	Sand-cement ratio	Water-cement ratio	Cement factor, lb/yd ³ (kg/m ³)	Estimated compressive strength, psi (MPa)
50 (800)	0.79	0.60	564 (335)	250 (1.7)
50 (800)	0.55	0.50	658 (390)	300 (2.1)
50 (800)	0.29	0.50	752 (446)	400 (2.8)
60 (960)	1.27	0.60	564 (335)	350 (2.4)
60 (960)	0.96	0.50	658 (390)	400 (2.8)
60 (960)	0.65	0.50	752 (446)	500 (3.5)
70 (1120)	1.75	0.60	564 (335)	450 (3.1)
70 (1120)	1.37	0.50	658 (390)	500 (3.5)
70 (1120)	1.06	0.45	752 (446)	600 (4.1)
80 (1280)	2.22	0.60	564 (335)	600 (4.1)
80 (1280)	1.78	0.50	658 (390)	650 (4.5)
80 (1280)	1.42	0.45	752 (446)	750 (4.8)
90 (1440)	2.85	0.45	564 (335)	1100 (7.6)
90 (1440)	2.19	0.50	658 (390)	1100 (7.6)
90 (1440)	1.78	0.45	752 (446)	1300 (9.0)
100 (1600)	3.18	0.60	564 (335)	1250 (8.6)
100 (1600)	2.65	0.45	658 (390)	1700 (11.7)
100 (1600)	2.14	0.45	752 (446)	1800 (12.4)
110 (1760)	3.66	0.60	564 (335)	2000 (13.8)
110 (1760)	3.06	0.45	658 (390)	2600 (17.9)
110 (1760)	2.44	0.50	752 (446)	2500 (17.2)
120 (1920)	3.32	0.60	658 (390)	3320 (22.9)
120 (1920)	2.80	0.50	752 (446)	3520 (24.3)

Figura 2.2: Composición y propiedades del concreto celular - ACI 523.3R-14

Cálculo de la mezcla:

1. Seleccionamos la densidad del material fundido (gf):

$$gf = 455 \times \ln (f^{\circ}c/0.34)$$

2. Calcule la resistencia a la compresión usando la ecuación:

$$f^{\circ}c = 0.34 \times e^{0.0022 \times gf}$$

3. Determine la relación agua/cemento:

$$w/cm = (0.45 \text{ a } 0.6)$$

4. Calcule la relación arena/cemento:

$$s/c = (gf - 673)/345$$

5. Determine la densidad secada al horno (D): kg/m³

$$D = gf - 122$$

6. Contenido de cemento (C): kg/m³

$$C = gf/(1 + w/cm + s/c)$$

7. Calcular el contenido de arena (S): kg/m³

$$S = C \times s/c$$

8. Calcular las cantidades de agua de amasado (W o Ancho): kg/m³

$$\text{Ancho (W)} = C \times w/cm$$

9. Calcular los volúmenes absolutos de solidos (cemento, agua y agregado) por unidad de volumen de concreto:

- Volumen de aire requerido (Av): m³

$$Av = 1 - VA$$

- Volumen absoluto (VA): m³

$$VA = C/(Gc \times gw) + W/gw + S (Gs \times gw)$$

Donde: gw = densidad del agua a 1000 kg/3

Gc = densidad del cemento kg/3

Gs = densidad de la arena kg/3

10. Calcular el volumen de espuma (VF): m³

$$VF = Av/fA$$

Donde fA = rendimiento de espuma; se considera 0.95

11. Calcular el peso de la espuma (F): kg/m³

$$F = VF \times rf$$

Donde rf = densidad de espuma en kg/m^3

12. Ajustar el peso del agua:

- Agua en espuma (W_{rf}): kg/m^3

$$W_{rf} = rf \times VF$$

- Agua en arena (W_s): (suponiendo 2% de espuma) kg/m^3

$$W_s = 0.02 \times S$$

- Agua corregida (W_c): kg/m^3

$$W_c = W - W_{rf} - W_s$$

- Arena corregida (S_c): kg/m^3

$$S_c = S + W_s$$

13. Usar la tabla siguiente para la proporción de mezcla ajustada m^3 :

Tabla 2.1: Tabla para la proporción de mezcla ajustada m^3

Materiales	kg/m³
Cemento	
Agua	
Arena	
Espuma	
Peso total	

2.2.2.2.4 Propiedades del concreto celular

Según (Cervantes, 2008). Las propiedades del concreto celular están relacionadas con materiales usados en la fabricación del concreto celular, que son básicamente los mismos usados en el concreto convencional, en excepción de los agregados de cuarzo y los agentes químicos que forman las células de aire. El concreto aireado es una variante del concreto normal y la diferencia entre ellos reside principalmente en su densidad, sin afectar la calidad. Las propiedades del concreto celular son:

a) Absorción

Las pruebas realizadas han demostrado que el espumante produce un concreto celular con absorción de agua muy baja. Cuanto mayor sea el contenido de aire, menor será la absorción de agua.

b) Durabilidad

Es un material de larga duración que no está sometido al efecto del tiempo. No se descompone y es duradero como una roca. Su alta resistencia a la compresión permite que se pueda utilizar un menor peso/volumen en la construcción.

c) Resistencia al fuego

Es extremadamente resistente al fuego y es apto para los trabajos con riesgo de incendio. Las pruebas han demostrado que, además de la protección prolongada contra el fuego, la aplicación de un calor intenso, como una llama a alta energía mantenida cercana a la superficie, no provoca ni la rotura ni la explosión, contrariamente al comportamiento del concreto con densidad normal.

d) Calor

Gracias a la alta variación térmica, las construcciones con concreto celular logran acumular calor, lo que permite reducir los gastos de calefacción del 20 al 30%.

e) Montaje rápido

La ligereza del concreto celular, combinada con el tamaño mayor de los bloques en comparación con los ladrillos, posibilita acelerar significativamente el proceso de instalación. Este material se puede manipular y cortar con facilidad para crear canales y pasos para cables eléctricos y tuberías. La sencillez en el montaje se debe a la precisión de sus dimensiones, con una tolerancia de +/- 1 mm.

f) Microclima

Evita la pérdida de calor en invierno; es resistente a la humedad, permite evitarlas temperaturas muy altas en verano y controlar la humedad en el aire absorbiéndola y favorece la creación de un microclima (como una casa de madera).

g) Aislamiento acústico

Tiene una absorción acústica alta. Los edificios construidos con concreto celular cumplen las normas como material de aislamiento acústico.

h) Versatilidad

Gracias a su facilidad de elaboración, se pueden producir varias formas de ángulos, arcos y pirámides que aumentan el valor estético de los edificios.

i) Transporte

La combinación favorable de peso, volumen facilita el transporte de este material para las construcciones, tanto de material premezclado como elementos prefabricados.

j) Economía

La exactitud geométrica de las dimensiones de los bloques de concreto celular permite hacer más sutil el aplanado interno y externo. El concreto celular es significativamente más ligero que el concreto convencional, con una reducción de peso que oscila entre el 10% y el 87%. Esta notable disminución en la carga representa un ahorro significativo en los gastos asociados a la construcción de estructuras y cimientos.

k) Compatibilidad ambiental

El nivel de respeto al medio ambiente de la madera excede solo a su propia eficiencia, mientras que el coeficiente de compatibilidad ambiental (CCA) para concreto poroso es 2, menor que el CCA de la madera que es igual a 1. En comparación, el CCA de ladrillo es 10, y el de bloques de arcilla expandida es 20.

l) Protección

El concreto celular, al ser sometido a pruebas, ha demostrado ser efectivo en la protección contra la propagación del fuego, siendo clasificado como de primer grado de resistencia. Este material puede ser utilizado en la construcción de edificaciones resistentes al fuego. En comparación con el concreto convencional, el concreto celular no se quiebra ni estalla al ser expuesto a altas temperaturas, como las generadas por una lámpara de soldadura. Esto resulta en una mayor protección del acero encerrado contra el calor por períodos prolongados. Los estudios indican que una capa de concreto celular de 10 mm de espesor puede resistir al fuego durante 4 horas. En pruebas realizadas en Australia, se expuso la superficie exterior de un panel de concreto celular de 150 mm de espesor a temperaturas de hasta 1,200°C.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Definición de términos básicos

Absorción: La absorción es la propiedad, donde se somete especímenes a sumersión en agua en un tiempo de 5 horas y 24 horas, y se registra la variación de masas del espécimen seco y sumergido, expresado en porcentaje.

Agente espumante: Cuando se agita, el agente espumante se activa y genera burbujas de aire que se retienen, creando así espuma. Algunos agentes comunes incluyen emulsiones de jabón neutro y albúmina, derivados de ácido naftaleno (sulfónico), y silicato de sodio a 38 °C como estabilizador de la espuma, jabones de resina y silicato sódico, proteínas hidrolizadas, detergentes, entre otros. Estos agentes deben cumplir con las especificaciones detalladas en la norma ASTM C 796. Así mismo

Alabeo: Es cuando el ladrillo presentar una anomalía superficial en sus caras; este ensayo sirve para determinar si el espécimen a prueba es cóncavo o convexo. Para evaluar el alabeo, se coloca el ladrillo en una superficie plana y se coloca una regla metálica sobre la cara de apoyo de la unidad, conectando los extremos opuestos diagonalmente para identificar si está cóncavo o convexo. Posteriormente, se utiliza una cuña graduada en milímetros para medir la zona con mayor deformación.

Bloque NP: Es una clase de unidad de albañilería, que es utilizada en la construcción para muros no portantes y que su resistencia a la compresión como mínimo es de 2.0 MPa o 20 kg/cm² según la norma técnica E.070.

Bloque P: Es una clase de unidad de albañilería, que es utilizada en la construcción para muros que soportan cargas portantes y que su resistencia a la compresión como mínimo es de 4.9 MPa o 50 kg/cm² según la norma técnica E.070.

Cemento: El cemento es un aglutinante hidrófilo que se produce mediante la calcinación de rocas como la caliza, arenisca y arcilla, para obtener un polvo fino que, al combinarse con agua, se solidifica adquiriendo propiedades de resistencia y adherencia.

Cemento Portland: Portland es su nombre común debido a su contenido de puzolana que varía entre el 15% y el 50% en su composición, esta se incorpora durante la etapa de molienda del Clinker. Consta de 5 tipos, y se aplican según la estructura que se desea realizar.

Cemento Portland Tipo I: Este tipo de cemento es adecuado para una variedad de construcciones de concreto en general, particularmente sin especificar el uso de otros tipos de cemento en edificaciones, instalaciones industriales o complejos residenciales. Durante su proceso de hidratación, este cemento genera más calor que otros tipos disponibles en el mercado.

Concreto: El concreto también denominado hormigón, es la mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino y agua. Para obtener un buen hormigón, los materiales deben ser de buena calidad y ser mezclados en la proporción correcta en función a un diseño de mezcla con resistencia requerida. Así mismo se debe considerar los factores de las condiciones ambientales, tiempo, transporte, colocación o vaciado y el curado.

Concreto celular: Es el tipo de concreto ligero que contiene agua, arena, cemento y burbujas de aire dispersas en su estructura. También conocido como concreto aireado, concreto gas o concreto espumoso, este material homogéneo está formado por numerosas micro células de aire que le otorgan propiedades mecánicas, térmicas y acústicas específicas. Su densidad varía entre 320 y 1920 kg/m³ y su resistencia depende del agente utilizado, agregada en cantidades reducidas que oscilan entre el 0.1% y el 5% del peso del cemento seleccionado.

Densidad: La densidad es el volumen con respecto a una masa. La densidad tiene un efecto directo sobre las características del hormigón celular. Los niveles de densidad varían entre 800 y 1800 kilogramos por metro cúbico (kg/m³) cuando está seco. Un concreto curado en autoclave puede tener hasta

un aumento del 15% a un 25% en su peso comparado con el mismo concreto secado en horno.

Diseño de mezcla: Consiste en la selección de los materiales y sus cantidades respectivas para la fabricación de concreto, considerando los criterios de resistencia, costos, peso, durabilidad y aspecto final.

Espuma preformada: Es una capa de líquido globular enclaustrando vapor o gas. También definido como masa de burbujas que se forma en la superficie de algunos líquidos.

Estudio de factibilidad: Un estudio de factibilidad es una herramienta analítica que permite evaluar la viabilidad de un proyecto o producto, proyectando su desarrollo y evaluando su factibilidad técnica, económica, social y ambiental. Para realizar este estudio, se aplican metodologías que incluyen análisis de costos, estudios de mercado, evaluación de impacto ambiental, pruebas de laboratorio, entre otros.

Factibilidad: La factibilidad es un análisis preliminar que se realiza para determinar la viabilidad y oportunidad de llevar a cabo un proyecto u producto, ya sea en el ámbito empresarial o comercial. En el contexto de un proyecto de ingeniería civil, la factibilidad se refiere a la capacidad técnica, económica, operativa y de mercado del proyecto.

Factibilidad económica: Se refiere a la relación entre los costos y los beneficios potenciales, evaluando si el proyecto o material será favorable en términos económicos.

Factibilidad operativa: Se relaciona con el personal que tiene que realizar el proyecto en un periodo de tiempo, analizando si posee las competencias suficientes para llevar a cabo o ejecutarlo.

Factibilidad técnica: Evalúa si la infraestructura o material puede responder de manera favorable y eficiente, a medida que pueda ser de competencia técnica requerida.

Generadores de espuma: Es la herramienta, equipo, máquina que, al introducir el agente espumante y agua, mediante revoluciones genera espuma de diferentes densidades y consistencia en función a un tiempo determinado.

Resistencia a la compresión: Es la propiedad que mide el nivel de su resistencia del espécimen sometido a un esfuerzo de carga máxima distribuida en su área neta o efectiva.

Succión: La succión es la propiedad que se relaciona con la rapidez inicial de absorción del agua, donde se somete especímenes a la inmersión del agua hasta su saturación y luego al secado, y se registra la variación de masas. Este estudio evalúa la cantidad de agua que atraviesa la pieza sumergida, representada como un porcentaje del peso seco absorbido.

Unidad de albañilería: Son unidades utilizadas en la construcción de albañilería, compuestas principalmente de arcilla cerámica, mezcla de arena y cal (silicio-calcárea) o hormigón, reciben el nombre de "ladrillos" y "bloques" debido a sus dimensiones y peso. Los ladrillos se caracterizan por poder manipularse y colocarse con solo una mano, mientras que los bloques requieren el uso de ambas manos para su instalación. Además, estas piezas de albañilería pueden presentar diferentes tipos de cavidad interna como alveoladas, huecas, alveolares o tubulares, y pueden ser producidas mediante métodos artesanales o industriales.

Variación dimensional: Es dimensionar la unidad de albañilería, y expresar las medidas en centímetros del largo (L) x ancho (B) x altura (h).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis General

El resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, se determina viable.

3.2 Hipótesis Específicas

La valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es media.

La valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.

La valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.

3.3 Variables

3.3.1 Definición conceptual de las variables

a. Variable dependiente (X): Estudio de factibilidad

El estudio de factibilidad es un análisis preliminar que se realiza para determinar la viabilidad y oportunidad de llevar a cabo un proyecto, ya sea en el ámbito empresarial o comercial. En el contexto de un proyecto de ingeniería civil, la factibilidad se refiere a la capacidad técnica, económica, operativa y de mercado del proyecto. (Bermúdez, 2017, p.16).

b. Variable independiente (Y): Unidad de albañilería de concreto celular espumoso

La unidad de albañilería de concreto celular espumoso se refiere a una unidad de albañilería ligera de baja densidad y alta resistencia.

3.3.2 Definición operacional de las variables

a. Variable dependiente (X): Estudio de factibilidad

El estudio de factibilidad se operacionaliza mediante 3 dimensiones: valoración técnica, operativa y económica. Así mismo cada dimensión específica se subdivide en un indicador.

b. Variable independiente (Y): Unidad de albañilería de concreto celular espumoso

La unidad de albañilería de concreto celular espumoso se operacionaliza mediante 3 dimensiones: propiedades físicas, mecánicas y químicas. Así mismo cada dimensión específica se subdividen en indicadores.

3.3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 3.1: Operacionalización de las variables

Título: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO”						
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD/ESCALA
<p>Variable dependiente (X):</p> <p>X: Estudio de factibilidad</p>	<p>El estudio de factibilidad es un análisis preliminar que se realiza para determinar la viabilidad y oportunidad de llevar a cabo un proyecto, ya sea en el ámbito empresarial o comercial. En el contexto de un proyecto de ingeniería civil, la factibilidad se refiere a la capacidad técnica, económica, operativa y de mercado del proyecto. (Bermúdez, 2017, p.16).</p>	<p>El estudio de factibilidad se operacionaliza mediante 3 dimensiones: valoración técnica, operativa y económica. Así mismo cada dimensión específica se subdivide en un indicador.</p>	<p>D1: Valoración técnica</p> <p>D2: Valoración Operativa</p> <p>D3: Valoración Económica</p>	<p>I1: Análisis del cumplimiento con la norma técnica E.070</p> <p>I1: Análisis del tiempo de fabricación</p> <p>I1: Análisis de costos de producción</p>	<p>Fichas de recopilación de datos.</p>	<p>Valoración/ Likert</p> <p>- Muy baja - Baja - Media - Alta - Muy alta</p>
<p>Variable independiente (Y):</p> <p>Y: Unidad de albañilería de concreto celular espumoso</p>	<p>La unidad de albañilería de concreto celular espumoso se refiere a una unidad de albañilería ligera de baja densidad y alta resistencia.</p>	<p>La unidad de albañilería de concreto celular espumoso se operacionaliza mediante 3 dimensiones: propiedades físicas, mecánicas y químicas. Así mismo cada dimensión específica se subdividen en indicadores.</p>	<p>D1: Propiedades físicas</p> <p>D2: Propiedad mecánica</p> <p>D3: Propiedades químicas</p>	<p>I1: Variabilidad dimensional I2: Alabeo I3: Absorción I4: Contenido de humedad I5: Densidad I6: Succión</p> <p>I1: Resistencia a la compresión (f' b)</p> <p>I1: Contenido de sales</p>	<p>Fichas de recopilación de datos.</p>	<p>Razón / intervalo</p>

				I2: Contenido de sulfatos I3: Contenido de cloruros		
--	--	--	--	--	--	--

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Método de Investigación

Según Gonzales et al. (2011), El método científico es un proceso estructurado que los investigadores siguen para alcanzar un objetivo específico y obtener resultados concluyentes. (p.71)

En el estudio actual se desarrolla el método científico, razón por la cual se llevará a cabo una serie de pasos consecutivos, iniciando con el diseño de mezcla del concreto celular espumoso, seguidamente la fabricación de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso y analizar los resultados de las propiedades físicas, mecánicas y químicas; así mismo el tiempo de fabricación y el costo de producción, para después realizar su valoración técnica, operativa y económica; y finalmente llegar a las conclusiones.

4.2 Tipo de Investigación

Según Fidias (2012), la investigación pura o básica es la generación de un nuevo conocimiento, con el propósito de ampliar los fundamentos teóricos de una disciplina específica. (p.22)

En la investigación, se emplean normativas, literatura especializada, estudios y otros recursos como fundamentos teóricos al desarrollar las unidades de albañilería de concreto celular espumoso. Para abordar los desafíos de forma práctica, algunas muestras se someten a pruebas de laboratorio cuyos resultados pueden orientar investigaciones futuras. Por consiguiente, este enfoque se clasifica como investigación básica.

4.3 Nivel de Investigación

Según Fidias (2012), el nivel de investigación explicativa se encarga de buscar el motivo de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Se determinará las causas por medio de la prueba de hipótesis (investigación post facto), y los efectos (investigación experimental); y los resultados y conclusiones obtenidos son el nivel más profundo de conocimientos. (p.26).

El nivel de la presente investigación es explicativo, porque se pretende establecer la relación causa-efecto entre las variables, y para demostrar las hipótesis propuestas, se estudiará la unidad de albañilería de concreto celular espumoso (causa) y se determinará el estudio de factibilidad (efecto).

4.4 Diseño de Investigación

Según Hernández et al. (2014), el diseño de investigación experimental es cuando se manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control. (p.129)

Para la presente investigación se manipulará las unidades de albañilería de concreto celular espumoso, que se escogerá deliberadamente para ser analizadas con respecto a la variable estudio de factibilidad; por ello el diseño de esta investigación es experimental.

4.5 Población y Muestra

4.5.1 Población

Según Fidias (2012), la población se refiere a un grupo de elementos que comparten características comunes y puede ser finita o infinita en tamaño, para ser extensivas las conclusiones; la población queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio. (p.83)

En esta investigación, la población está conformada por un conjunto finito de 40 unidades de albañilería de concreto celular espumoso, donde 10 unidades son de control previo al diseño óptimo con incorporación del agente espumante; y 30 unidades que son del diseño de mezcla óptimo para ensayos de laboratorio, que se detalla en la tabla 4.1.

4.5.2 Muestra

Para Fidias (2012) “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83).

Para la muestra de esta investigación, se considera un total de 30 unidades de albañilería de concreto celular espumoso con el diseño de mezcla óptimo, sometidos a ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas; y posteriormente evaluar el estudio de factibilidad mediante la valoración técnica, operativa y económica de esas unidades.

Tabla 4.1: Población de la investigación

Ensayos de laboratorio	Unidad de Albañilería de Concreto Celular Espumoso	
	Unidad	Cantidad Parcial
DISEÑO DE CONTROL PREVIO	Und	10
Resistencia a la compresión a los 3 días	Und	10
DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMO	Und	30
Ensayos a los 7 días	Und	6
Resistencia a la compresión	Und	6

Ensayos a los 14 días	Und	6
Resistencia a la compresión	Und	6
Cloruros solubles	Und	
Sales solubles	Und	
Sulfatos solubles	Und	
Ensayos a los 28 días	Und	18
Resistencia a la compresión	Und	6
Cloruros solubles	Und	
Sales solubles	Und	
Sulfatos solubles	Und	
Alabeo	Und	6
Succión	Und	
Variabilidad dimensional (Grupo 1)	Und	
Absorción	Und	6
Contenido de Humedad	Und	
Densidad	Und	
Variabilidad dimensional (Grupo 2)	Und	
TOTAL	Und	40

4.5.3 Muestreo

Según Gonzales et al. (2011), en métodos de muestreo no probabilísticos, el científico ejerce influencia sobre la elección del muestro u opta por criterios de conveniencia. (p.147)

Se eligió específicamente las unidades de albañilería de concreto celular espumoso y se examinaron los ensayos relacionados con estas unidades, por lo tanto, en la investigación se utilizó un método de muestreo no probabilístico.

4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1 Técnica

Según Ñaupas et. al (2014), la observación directa es un método de adquirir conocimientos que proviene del interés y la curiosidad hacia algo o alguien específico, donde el investigador y lo estudiado comparten una interacción personal. (p.204)

En este estudio la técnica utilizar es la observación directa para la recopilación de datos.

4.6.2 Instrumentos de recolección de datos

Según Carrasco (2006), las fichas consisten en un cuestionario diseñado para recopilar y registrar información sobre las características, opiniones y actitudes de un individuo o elemento específico (variable) investigado. (p.334)

En este estudio se optó por el uso de fichas para la recolección de datos de los ensayos de laboratorio:

Caracterización del agregado:

- Durabilidad al sulfato de magnesio
- Equivalente de arena
- Pasante por la malla N°200 por lavado
- Arcilla en terrones y partículas desmenuzables
- Impurezas orgánicas
- Sales solubles
- Sulfatos solubles
- Cloruros solubles
- Densidad del agente espumante

Propiedades para el diseño de mezcla:

- Análisis granulométrico del agregado fino
- Contenido de humedad del agregado fino
- Peso Unitario Suelto del agregado fino
- Peso Unitario Compactado del agregado fino
- Gravedad específica
- Absorción

Propiedades físicas, mecánicas y químicas de las unidades:

- Variabilidad dimensional
- Alabeo
- Absorción
- Contenido de humedad
- Densidad
- Succión
- Resistencia a la compresión
- Cloruros solubles
- Sales solubles
- Sulfatos solubles

4.6.2.1 Validez

Para Monje (2011), la validez de un instrumento se refiere a su capacidad para medir lo que se pretende evaluar. Para asegurar esta cualidad, a menudo se solicita la colaboración de expertos externos que analizan el instrumento con el fin de verificar si cumple con su propósito previsto. (p.165).

Se obtuvo la validación de los instrumentos de investigación a través de la evaluación de expertos, según los siguientes rangos:

Tabla N° 4.2: Rangos de validación de instrumentos

Rango	Significancia
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.59	Validez baja
0.60 a 0.65	Válida
0.66 a 0.71	Muy válida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.0	Validez perfecta

Fuente: Gonzales et. al (2011)

Tabla N° 4.3: Validez por juicio de expertos

N°	Grado académico	Profesión	Apellidos y nombres	N° CIP	Validez
1	Mg.	Ing. Civil	REYNOSO OSCANOVA, Javier	87680	0.778
2	Mg.	Ing. Civil	CHAVEZ PECHO, Wilmer Carlos	103352	0.889
3	Mg.	Ing. Civil	SANCHEZ MATTOS, Waldir Alexis	206756	0.889

Según la tabla 4.3, el promedio de la validez de la evolución de expertos es 0.85 y en consideración de la tabla 4.2 se considera la significancia como excelente validez.

4.6.2.2 Confiabilidad

Según Ñaupas (2014), un instrumento se considera confiable cuando las mediciones realizadas no presentan cambios importantes, ya sea a lo largo del tiempo o al aplicar a diferentes individuos con un nivel de instrucción similar. (p.216)

Tabla N° 4.4: Coeficiente de confiabilidad

Rango	Confiabilidad
0.53 a menos	nula confiabilidad
0.54 a 0.59	baja confiabilidad
0.60 a 0.65	confiable
0.66 a 0.71	muy confiable
0.72 a 0.99	excelente confiabilidad
1.00	perfecta confiabilidad

Fuente: Ñaupas (2014)

4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

4.7.1 Procesamiento de la información

Se ha considerado los pasos siguientes para el desarrollo de la investigación:

- Selección de la cantera de agregado fino y proveedor de los materiales.
- Caracterización del agregado como: granulometría, peso unitario suelto, peso específico compactado, peso específico, módulo de finura y contenido de humedad.
- Diseño de mezcla teórico y práctico del diseño óptimo del concreto celular.
- Ensayo de las unidades de albañilería en estado endurecido, propiedades físicas, mecánicas y químicas: resistencia a compresión en un periodo de 7, 14 y 28 días, alabeo, absorción, variabilidad dimensional, succión, densidad y contenido de humedad en un periodo de 28 días y el contenido de cloruros solubles, sales solubles y sulfatos solubles en un periodo de 14 y 28 días.
- El procesamiento de información obtenido en la experimentación será organizada y presentada en tablas descriptivas y funcionales creadas en Excel. A partir de esto, se llevará a cabo el análisis e interpretación de los resultados para llegar a una conclusión clara que cumpla con los objetivos establecidos por el investigador.

4.7.2 Técnicas y análisis de datos

Según Hernández et al. (2014), la metodología cuantitativa se basa en la colección y análisis de datos numéricos, contables, que a menudo emplea estadísticas para responder preguntas de investigación y comprobar hipótesis previas, buscando establecer precisamente los patrones de conducta dentro de una población.

En la presente investigación se utilizará la estadística descriptiva e inferencial, para el cumplimiento de los objetivos del presente estudio.

La estadística descripta se empleó en el proceso. para organizar y almacenar los datos obtenidos de los ensayos, y para crear tablas y/o gráficos que permitan calcular la tendencia central o las medidas de dispersión de los conjuntos de datos. A su vez se utilizó la estadística inferencial para examinar

la información recopilada en los experimentos a través de técnicas estadísticas, con el propósito de llegar a conclusiones basadas en la muestra representativa, utilizando la herramienta Microsoft Excel.

4.8 Aspectos éticos de la investigación

La presente investigación es elaboración propia, en contextos que abordan el tema, se tienen en cuenta las responsabilidades relacionadas con la obtención de datos o información, y el respeto por mantener la originalidad de los autores, detallando las citas en las referencias bibliográficas, de acuerdo a las teorías de redacción de los contenidos en cada capítulo. Así mismo los resultados obtenidos de laboratorio son de carácter reservado y de uso único para el estudio de la presente investigación.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Descripción del diseño tecnológico

5.1.1 Estudios de laboratorio

Los protocolos de investigación llevados a cabo en el laboratorio para evaluar las unidades de albañilería de concreto celular espumoso se basaron en las normas nacionales (NTP) e internacionales, las cuales se describen en detalle a continuación.

Tabla 5.1: Ensayos de laboratorio para el agregado fino

DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	NORMA	ANEXO
Durabilidad al sulfato de magnesio	NTP 400.016:2011	Ver Anexos
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	Ver Anexos
Pasante por la malla N°200 por lavado	NTP 339.132:1999 (Rev. 2019)	Ver Anexos
Arcilla en terrones y partículas desmenuzables	NTP 400.015	Ver Anexos
Impurezas orgánicas	MTC E 213:2016	Ver Anexos
Sales solubles	NTP 339.152:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Sulfatos solubles	NTP 339.178:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Cloruros solubles	NTP 339.177:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Densidad del agente espumante	-	-

Tabla 5.2: Ensayos para el diseño del concreto celular espumoso

DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	NORMA	ANEXO
Análisis granulométrico	ASTM C136 / C136M - 19	Ver Anexos
Contenido de humedad	NTP 339.185	Ver Anexos
Peso Unitario Suelto	NTP 400.017	Ver Anexos
Peso Unitario Compactado	NTP 400.017	Ver Anexos
Gravedad específica	MTC E 205	Ver Anexos
Absorción	MTC E 205	Ver Anexos
Diseño de mezcla	NTC 3356 - Ref. ACI 523.3R-14	Ver Anexos

Tabla 5.3: Ensayos para la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	NORMA	ANEXO
Propiedades físicas		
Variabilidad dimensional	NTP 399.604:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Alabeo	NTP 399.613:2017	Ver Anexos
Absorción	NTP 399.604:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Contenido de humedad	NTP 399.604:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Densidad	NTP 399.604:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Succión	NTP 399.613:2017	Ver Anexos
Resistencia a la compresión	NTP 399.604:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Propiedades químicas		
Cloruros solubles	NTP 339.177:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Sales solubles	NTP 339.152:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos
Sulfatos solubles	NTP 339.178:2002 (Rev. 2015)	Ver Anexos

5.1.2 Estimación de la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Para estimar la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso; primero se realiza la caracterización de agregado fino, seguido de las propiedades para el diseño de mezcla del concreto celular espumoso, después se realiza el diseño de mezcla del concreto celular y se escoge el diseño óptimo para elaborar las unidades, y por último se realiza los ensayos físicos, mecánicos y químicos a las unidades.

5.1.2.1 Caracterización del agregado fino

La caracterización del agregado fino se desarrolla desde la adquisición, y los 25 costales de muestras de arena fueron extraídas de las coordenadas N 11.892246 E 75.338132 de la cantera Matahuasi, ubicada en el Distrito de Matahuasi, Provincia Concepción, Departamento Junín.



Figura 5.1: Agregado fino

Se realizó como primer ensayo el equivalente de arena, y con ello verificamos que el agregado fino pueda usarse para nuestro diseño de mezcla, en esta ocasión como el equivalente de arena salió 33%, es decir muy bajo se tuvo que lavar el material y después se procedió a encostalar:



Figura 5.2: Encostalado y lavado del agregado fino

Tabla 5.4: Resumen de la caracterización del agregado fino

DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	RESULTADOS
Durabilidad al sulfato de magnesio	12.68%
Equivalente de arena	76%
Pasante por la malla N°200 por lavado	2.0%
Arcilla en terrones y partículas desmenuzables	0.2%
Impurezas orgánicas	1
Sales solubles	267 mg/Kg
Sulfatos solubles	82 ppm
Cloruros solubles	695 mg/Kg

Del resumen de los resultados de las propiedades para la caracterización del agregado fino de la tabla 5.4, se tiene lo siguiente:

- Del ensayo de la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino se tiene el resultado de 12.68%. Por tanto, cumple; porque el resultado de la durabilidad al sulfato de magnesio no excede al 15%, y según la norma NTP 400.037 es el valor máximo de aceptación para el agregado fino.
- Del ensayo de equivalente de arena el resultado es 76%. Por tanto, cumple; porque el resultado del equivalente de arena no es inferior a 60%, y según la norma NTP 400.037 es el valor mínimo de aceptación para el agregado fino.
- Del ensayo pasante por la malla N°200 por método de lavado el resultado es 2.0%. Por tanto, cumple; porque el resultado del pasante por la malla N°200 no excede al 3.0%, y según la norma NTP 400.037 es el valor máximo de aceptación para el agregado fino. Así mismo cumple con lo estipulado en el MTC E 202, ya que no excede al 5.0%.
- Del ensayo de contenido de arcilla en terrones y partículas desmenuzables el resultado es 0.2%. Por tanto, cumple; porque el resultado no excede al 3.0%, y según la norma NTP 400.037 es el valor máximo de aceptación para el agregado fino. Así mismo cumple con lo estipulado en el MTC E 212, ya que no excede al 1.0%.

- Del ensayo impurezas orgánicas del agregado fino el resultado es 1. Por tanto, cumple y es considerado satisfactorio según la norma NTP 400.037 y conforme a la norma NTP 400.013.
- Del ensayo del contenido de sales solubles el resultado es 267 mg/kg = 0.027%. Por tanto, si cumple: ya que el contenido de sales solubles no excede a 600 mg/kg = 0.060% que según la norma NTP 339.152 es el valor máximo de aceptación para el agregado fino.
- Del ensayo del contenido de sulfatos solubles el resultado es 82 ppm = 0.008%. Por tanto, si cumple: ya que el contenido de sulfatos solubles no excede a 600 ppm = 0.060% que según la norma NTP 400.042 es el valor máximo de aceptación para el agregado fino.
- Del ensayo del contenido de cloruros solubles el resultado es 695 mg/kg = 0.070%. Por tanto, si cumple: ya que el contenido de cloruros solubles no excede a 1500 mg/kg = 0.15% que según la norma NTP 400.042 es el valor máximo de aceptación para el agregado fino.

5.1.2.2 Propiedades para el diseño de mezcla del concreto celular espumoso

De las propiedades del agregado fino y del agente espumante se obtendrá el diseño de mezcla para la unidad de albañilería de concreto celular espumoso.

Tabla 5.5: Resumen de propiedades para el diseño de mezcla

DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	RESULTADOS
Análisis granulométrico – Módulo de fineza	2.59
Contenido de humedad	11.1%
Peso Unitario Suelto	1701 kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1804 kg/m ³
Peso específico	2.65 g/cm ³
Absorción	1.99%
Densidad del agente espumante	1097.28 kg/m ³

a) Análisis granulométrico

La granulometría del agregado fino (arena), la forma y la textura pueden favorecer a una mejor cohesión y a la producción de un concreto con alta resistencia. Para realizar la granulometría del agregado fino, se hizo según la norma ASTM C136 / C136M - 19 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Donde se utilizó tamices de diferentes tamaños, y se obtuvo el registro de los pesos del material retenido en cada tamiz, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.6: Granulometría del agregado fino

TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	MATERIAL QUE PASA (%)	ASTM C33/C33 M-23	
Nº	Abertura (mm)					Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00	95.00	100.00
Nº 8	2.360	224.00	15.02	15.02	84.98	80.00	100.00
Nº 16	1.180	169.10	11.34	26.37	73.63	50.00	85.00
Nº 30	0.600	223.20	14.97	41.34	58.66	25.00	60.00
Nº 50	0.300	580.80	38.96	80.29	19.71	5.00	30.00
Nº 100	0.150	238.00	15.96	96.26	3.74	0.00	10.00
Nº 200	0.075	47.20	3.17	99.42	0.58	0.00	3.00
Fondo		8.60	0.58	100.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		1,490.90	100.00				

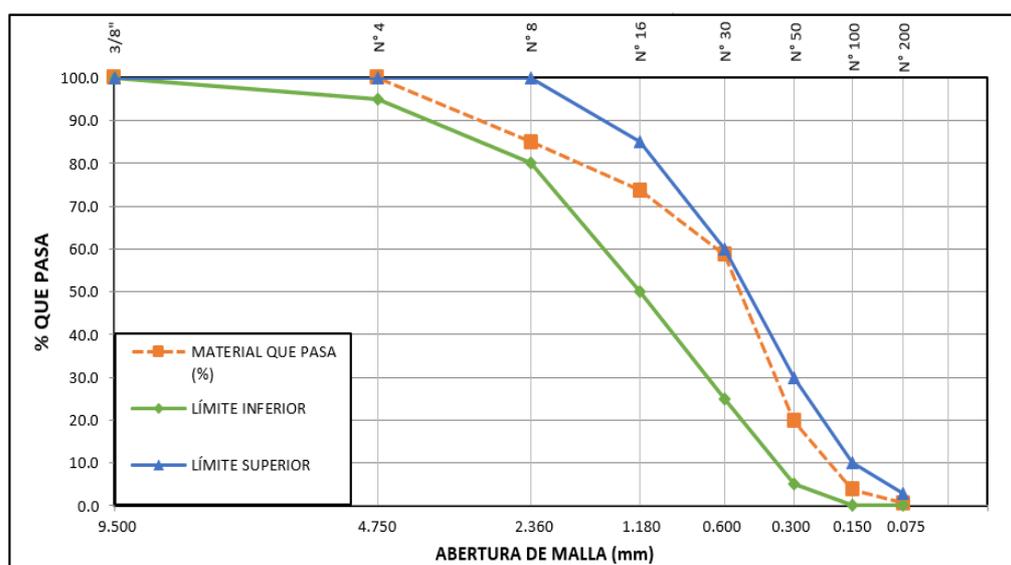


Figura 5.3: Análisis granulométrico del agregado fino – Límites ASTM C33/C33 M-23

El tamaño máximo es N°4 (4.75 mm) y el tamaño máximo nominal (TMN) de la granulometría realizada es N°8 (2.36 mm). Así mismo cumple con el requerimiento de la norma NTP 400.037, donde menciona que no debe tener más del 45% entre dos mallas consecutivas, puesto que el mayor porcentaje de la granulometría realizada es 38.96% del N°50 (0.30 mm).

De la granulometría del agregado fino se obtiene el módulo de finura (MF), que viene a ser la sumatoria del % de retenidos acumulados de las mallas estándar entre 100; igual la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\% \text{ ret. acumulado (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

De la fórmula se obtiene el módulo de finura del agregado fino utilizado, que da resultado a 2.59. La norma ASTM C 33 establece que el módulo de finura es un índice para describir si una arena es gruesa, fina o mediana; tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 5.7: Descripción de la arena en función al MF

MÓDULO DE FINURA	DESCRIPCIÓN
< 2.3	Arena fina
2.3 - 3.1	Arena mediana
> 3.1	Arena gruesa

De la tabla 5.7 se obtiene que: Si el MF del agregado fino utilizado es 2.59, entonces es una arena mediana. Así mismo cumple con el requerimiento de la norma NTP 400.037, donde menciona que el módulo de fineza no será menor de 2.3, ni mayor de 3.1.

b) Peso específico y absorción del agregado fino

La determinación del peso específico del agregado fino es crucial para su inclusión en los cálculos de diseño de mezclas. Del mismo modo, al calcular la absorción, se facilita la determinación de la cantidad de agua neta

necesaria para la dosificación del concreto en el diseño de mezclas. Para ello el presente ensayo se realizó mediante lo estipulado en el MTC E 205.

Tabla 5.8: Peso específico y absorción del agregado fino

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA
	N° 01	N° 02
Peso de la arena superficialmente seca + peso de la fiola + peso del agua	956.78	956.80
Peso de la arena superficialmente seca + peso de la fiola	651.45	651.46
Peso del agua	305.33	305.34
Peso de la fiola	151.45	151.46
Peso de la arena secada al horno	490.25	490.26
Volumen de la fiola	500.00	500.00

Tabla 5.9: Resultados del Peso específico y absorción del agregado fino

RESULTADOS DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO
	N° 01	N° 02	
Peso específico de masa	2.52	2.52	2.52
Peso específico de masa saturada superficialmente seco	2.57	2.57	2.57
Peso específico aparente	2.65	2.65	2.65
Porcentaje de absorción	1.99 %	1.99 %	1.99 %

c) Peso unitario del agregado fino

La función principal del peso unitario del agregado es establecer el peso por unidad de volumen compactado en seco, con el fin de ser utilizado en la formulación de la mezcla y para controlar que el peso volumétrico del concreto no exceda los 2400 kg/m³.

I. PESO UNITARIO SUELTO - PUC

Tabla 5.10: Peso unitario suelto del agregado fino

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	N° 01	N° 02	N° 03
Masa de la muestra suelta + recipiente (kg)	6.485	6.490	6.480
Masa del recipiente (kg)	1.625	1.625	1.625
Masa de la muestra suelta (kg)	4.860	4.865	4.855
Factor de calibración del recipiente	350.00	350.00	350.00
Peso unitario aparente suelto (kg/m³)	1701	1703	1699
Peso unitario suelto promedio (kg/m³)	1701		

II. PESO UNITARIO COMPACTADO - PUC

Tabla 5.11: Peso unitario compactado del agregado fino

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	N° 01	N° 02	N° 03
Masa de la muestra compactada + recipiente (kg)	6.785	6.780	6.775
Masa del recipiente (kg)	1.625	1.625	1.625
Masa de la muestra compactada (kg)	5.161	5.156	5.151
Factor de calibración del recipiente	350.00	350.00	350.00
Peso unitario aparente compactado (kg/m³)	1806	1804	1803
Peso unitario compactado promedio (kg/m³)	1804		

d) Contenido de humedad del agregado fino

La cantidad de humedad contenida representa el volumen de agua superficial que se retiene por las partículas, y ejerce un efecto sobre la cantidad de agua requerida dentro de la mezcla. Por consiguiente, su relevancia es fundamental para nuestra investigación.

Tabla 5.12: Contenido de humedad del agregado fino

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA
	N° 01	N° 02
Masa de tara + muestra húmeda (g)	3541.00	3527.00
Masa de tara + muestra secada al horno (g)	3200.00	3190.00
Masa de la tara (g)	128.00	152.00
Contenido de agua (g)	341.00	337.00
Contenido de humedad (%)	11.10	11.09
Promedio C.H. (%)	11.10	

e) Caracterización del agente espumante

La caracterización del agente espumante se desarrolla desde la adquisición, que fue en el supermercado Plaza Vea que está ubicado en el distrito de Huancayo. El agente espumante es de la marca Ayudin, es un lavavajillas líquido de color verde y según las especificaciones los ingredientes que contienen la fórmula, constan de: Agua, alquil sulfato de sodio, óxido de amina, alquil etoxisulfato de sodio, ayudas de proceso, fragancia, conservantes/conservadores y colorantes.

Para obtener la densidad del agente espumante se tiene en consideración que la dosificación sea de 2.5 a 3% del peso del agua. La espuma tiene que pesar 50 gr/lit de agua; por lo tanto, 1400 lit de agente espumante + agua; el volumen que ocupa es de 0.0013 m³ y según la fórmula, donde de densidad es igual a la masa/volumen:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Se tiene que la densidad es: $\rho = 1097.282 \text{ kg/m}^3$

5.1.2.3 Diseño de mezcla del concreto celular

El diseño de la mezcla que se utilizó es similar al diseño para mortero, pero incorporando el agente espumante. El diseño de mezcla se realizó de acuerdo a la norma NTC 3329 y el ACI 523.3R-14 y considerando el método adecuado para una resistencia de 50 kg/cm², se procedió con los datos por m³ de concreto celular elaborado con variación de adición de espuma.

Tabla 5.13: Diseño de mezcla CONTROL al 0.10% de agente espumante

Materiales	en peso (kg/m3)	% en peso
Cemento	350.00	26.95
Agregado fino	789.97	60.83
Agua	157.42	12.12
Agente espumante	1.30	0.10
TOTAL	1298.69	100.00
Aire (%)	3.5	

Tabla 5.14: Diseño de mezcla CONTROL al 0.25% de agente espumante

Materiales	en peso (kg/m3)	% en peso
Cemento	350.00	26.91
Agregado fino	789.97	60.74
Agua	157.42	12.10
Agente espumante	3.24	0.25
TOTAL	1300.64	100.00
Aire (%)	3.5	

Tabla 5.15: Diseño de mezcla CONTROL al 0.50% de agente espumante

Materiales	en peso (kg/m3)	% en peso
Cemento	350.00	26.84
Agregado fino	789.97	60.59
Agua	157.42	12.07
Agente espumante	6.49	0.50
TOTAL	1303.88	100.00
Aire (%)	3.5	

Tabla 5.16: Diseño de mezcla CONTROL al 2.00% de agente espumante

Materiales	en peso (kg/m3)	% en peso
Cemento	350.00	26.00
Agregado fino	789.97	60.00
Agua	157.42	12.00
Agente espumante	25.95	2.00
TOTAL	1323.34	100.00
Aire (%)	3.5	

Tabla 5.17: *Diseño de mezcla CONTROL al 3.00% de agente espumante*

Materiales	en peso (kg/m3)	% en peso
Cemento	350.00	26.00
Agregado fino	789.97	59.00
Agua	157.42	12.00
Agente espumante	38.92	3.00
TOTAL	1336.32	100.00
Aire (%)	3.5	

5.1.2.4 Diseño de mezcla óptimo para la elaboración de las unidades de albañilería de concreto celular

Se estima el diseño control óptimo para la elaboración de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso; considerando que los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 3 días deben llegar como mínimo al 50% de la resistencia estimada para que cumpla como diseño optimo o requerido.

Tabla 5.18: *Resistencia a la compresión a los 03 días de las muestras CONTROL*

Diseño de mezcla	Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia (MPa)	Resistencia (%)
DISEÑO CONTROL (0.1%)	A1	11/11/2023	14/11/2023	109.53	11.0	219%
	A2	11/11/2023	14/11/2023	103.19	10.3	206%
DISEÑO CONTROL (0.25%)	A3	11/11/2023	14/11/2023	91.07	9.1	182%
	A4	11/11/2023	14/11/2023	78.38	7.8	157%
DISEÑO CONTROL (0.5%)	A5	11/11/2023	14/11/2023	41.39	4.1	83%
	A6	11/11/2023	14/11/2023	85.85	8.6	172%
DISEÑO CONTROL (2.0%)	A7	11/11/2023	14/11/2023	25.19	2.5	50%
	A8	11/11/2023	14/11/2023	25.22	2.5	50%
DISEÑO CONTROL (3.0%)	A9	11/11/2023	14/11/2023	21.89	2.2	44%
	A10	11/11/2023	14/11/2023	18.79	1.9	38%

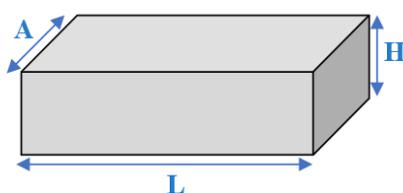
De los resultados de las 10 muestras de unidades de albañilería de concreto celular espumoso de la tabla 5.18, se obtuvo el diseño óptimo y el que dio resultado favorable en el ensayo de resistencia a la compresión a los 03 días

fue el DISEÑO CONTROL (2.0%); por tanto, este diseño de mezcla se usará para la elaboración de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso, con la dosificación es: $R/a/c = 0.45$:

Tabla 5.19: Diseño de mezcla optima por m³

Materiales	en peso (kg/m³)	% en peso
Cemento	350.00	26.00
Agregado fino	789.97	60.00
Agua	157.42	12.00
Agente espumante	25.95	2.00
TOTAL	1323.34	100.00
Aire (%)	3.5	

- Las dimensiones de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso son:



L = largo = 0.22 m
 A = ancho = 0.12 m
 H = alto = 0.10 m

- El volumen del espécimen en función a sus medidas es: 0.00264 m³
- El molde a utilizar para elaborar 10 unidades, con un volumen total a requerir por tanda de 0.0264 m³:



Figura 5.4: Imagen del molde para una tanda de 10 unidades

- Se tiene la siguiente tabla de las proporciones para una tanda de 10 unidades de albañilería de concreto celular espumoso:

Tabla 5.20: Proporciones por tanda de 10 unidades

Materiales	en peso (g)	% en peso
Cemento	9240	26.00
Agregado fino	20855	60.00
Agua	4156	12.00
Agente espumante	685	2.00
TOTAL	34936	100.00
Aire (%)	3.5	

5.1.2.5 Propiedades físicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

- De las características generales con respecto a la norma E.070, se tiene que las unidades de albañilería de concreto celular espumoso en estudio son de geometría sólida o maciza, y que están fabricados artesanalmente.

Tabla 5.21: Clase de unidad de albañilería según la Norma E.070

TABLA 1					
CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes
(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Norma Técnica E.070

- De la Tabla 5.21, se tiene la clasificación de Bloque NP, que será utilizado para la construcción de muros no portantes.

a) Variabilidad dimensional

Para realizar el ensayo de variabilidad dimensional se utilizó la NTP 399.604:2002 (Revisión 2015); y se realizó la medición de dimensiones de 12 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso en estado endurecido a los 7 días de curado, donde se midió el largo, ancho y alto en mm con la ayuda del vernier y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 5.22: Ensayo de variabilidad dimensional

N°	LARGO (mm)				ANCHO (mm)				ALTURA (mm)			
1	218.69	218.85	219.89	218.98	120.47	120.47	120.54	120.99	101.37	101.54	101.59	101.59
2	218.12	218.87	218.34	218.26	120.00	120.12	120.44	120.01	101.66	101.56	101.95	101.70
3	218.01	218.27	218.95	218.74	120.06	119.53	119.99	119.71	101.48	101.81	101.55	101.85
4	218.45	218.60	218.85	218.48	119.45	120.09	120.80	120.88	102.61	102.70	102.30	102.52
5	218.77	218.36	218.78	218.65	120.81	120.47	120.04	120.70	101.54	102.42	102.20	101.97
6	219.64	220.79	220.43	220.05	120.01	120.78	120.99	120.95	101.64	102.77	102.04	102.47
7	219.49	221.43	219.72	221.90	120.27	120.18	120.74	120.82	105.52	105.38	105.18	105.30
8	220.91	221.11	221.18	221.55	120.34	120.71	120.98	120.42	107.64	106.28	106.51	106.50
9	220.39	220.27	220.43	220.71	119.64	119.60	119.98	119.63	106.92	107.05	106.84	106.93
10	220.02	220.14	220.69	220.44	120.71	120.97	120.33	120.78	105.49	105.45	105.35	104.70
11	220.28	220.02	220.56	220.31	120.98	120.94	120.85	120.96	105.33	105.15	105.10	104.94
12	220.98	220.91	220.26	220.75	120.72	120.55	120.77	120.35	105.55	105.38	105.38	105.85
Promedio (mm)	219.76				120.43				103.89			
Dimensión nominal (mm)	220.00				120.00				100.00			
Variabilidad dimensional	0.24%				0.43%				3.89%			

Tabla 5.23: Resumen de la variación de dimensión

	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN		
	Largo	Ancho	Alto
	Mas de 150 mm ± 4	Hasta 150 mm ± 6	Hasta 100 mm ± 7
PROMEDIO (mm)	219.76	120.43	103.89
DIMENSIÓN NOMINAL (mm)	220.00	120.00	100.00
VARIABILIDAD DIMENSIONAL	0.24%	0.43%	3.89%

Tabla 5.24: Resultados del ensayo de variabilidad dimensional

MUESTRA	LARGO	ANCHO	ALTURA
G-1	0.90%	0.62%	1.52%
G-2	1.60%	0.14%	1.72%
G-3	1.51%	0.18%	1.67%
G-4	1.41%	0.31%	2.53%
G-5	1.36%	0.50%	2.03%
G-6	0.23%	0.68%	2.23%
G-21	0.63%	0.50%	5.35%
G-22	1.19%	0.61%	6.73%
G-23	0.45%	0.29%	6.94%
G-24	0.32%	0.70%	5.25%
G-25	0.29%	0.93%	5.13%
G-26	0.72%	0.60%	5.54%
Promedio de variabilidad	0.24%	0.43%	3.89%

Interpretación:

- a) De la tabla 5.23, se observa los resultados de variabilidad dimensional y se tiene que: el largo promedio es 219.76 mm con una variabilidad de 0.24% al largo nominal; el ancho promedio es 120.43 mm con una variabilidad de 0.43% al ancho nominal y la altura promedio es 103.89 mm con una variabilidad de 3.89% al alto nominal; así mismo las mediciones se encuentran dentro de los rangos estipulados por la Norma E. 070.

- b) En la tabla 5.24 se observa que la variabilidad dimensional de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, donde el largo varía en 0.90%, 1.60%, 1.51%, 1.41%, 1.36%, 0.23%, 0.63%, 1.19%, 0.45%, 0.32%, 0.29% y 0.72%; en el ancho varía en 0.62%, 0.14%, 0.18%, 0.31%, 0.50%, 0.68%, 0.50%, 0.61%, 0.29%, 0.70%, 0.93% y 0.60%; y en el alto varía en 1.52%, 1.72%, 1.67%, 2.53%, 2.03%, 2.23%, 5.35%, 6.73%, 6.94%, 5.25%, 5.13%, 5.54%. De las variaciones se tiene que la dimensión menor del largo es 0.23% y la dimensión mayor es 1.60%; en el ancho la dimensión menor es 0.14% y la dimensión mayor es 0.93%, mientras que en el alto la dimensión menor es 1.52% y la dimensión mayor es 6.94%. Por lo que se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento de la variabilidad dimensional:

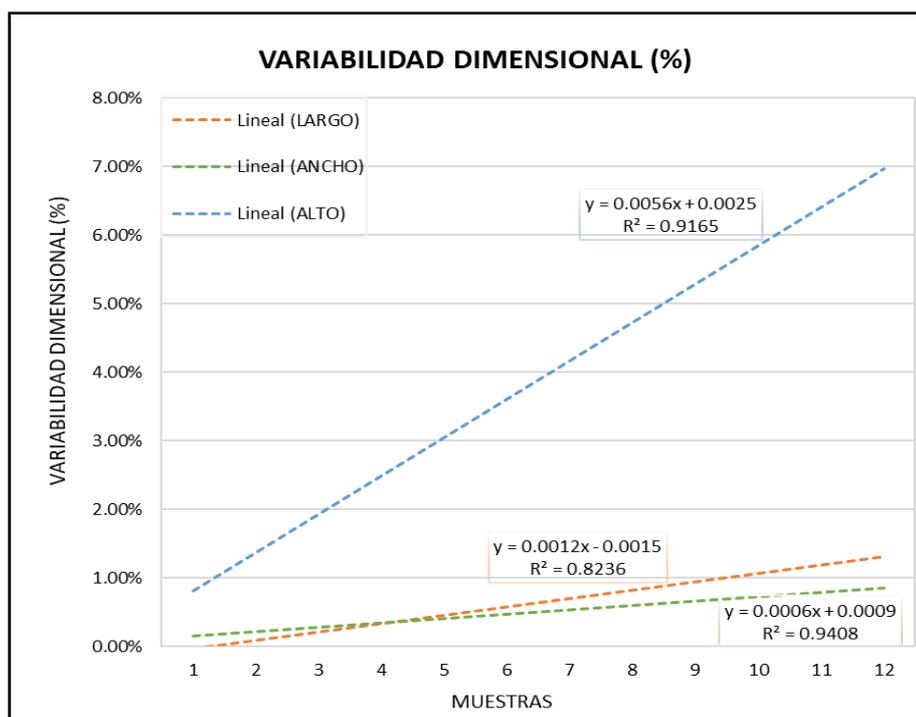


Figura 5.5: Gráfico de tendencia del comportamiento de la variabilidad dimensional

b) Alabeo

Para realizar el ensayo del alabeo se utilizó la NTP 399.613:2017; y se realizó la medida del alabeo de 06 muestras de unidad de albañilería de

concreto celular espumoso en estado endurecido a los 7 días de curado, donde se utilizó dos superficies planas de acero y vernier; se tomó las medidas en las superficies cóncavas, bordes cóncavos, superficies convexas y bordes convexos y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5.25: Ensayo de medida del alabeo

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			MEDICIÓN (mm)				ALABEO (mm)
	Largo	Ancho	Altura	Superficies cóncavas	Bordes cóncavos	Superficies convexas	Bordes convexos	
1	22	12	11	2	2	3	0	1.753
2	22	12	11	1	2	0	0	0.718
3	22	12	11	2	2	4	0	1.858
4	22	12	11	2	2	2	0	1.368
5	22	12	11	1	1	2	0	1.244
6	22	12	11	2	2	1	0	1.251
PROMEDIO								1.365

Interpretación:

- a) De la tabla 5.25 se tiene que el promedio del alabeo es 1.365 mm y con respecto a la tabla 5.36, se precisa que se cumple con lo estipulado por la Norma E. 070, donde menciona que el máximo alabeo de las unidades de albañilería para Bloque NP es de 8.00 mm.
- b) En la tabla 5.25 se observa que el alabeo de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso varía en 1.753 mm, 0.718 mm, 1.858 mm, 1.368 mm, 1.244 mm y 1.251 mm; donde se tiene que las unidades elaboradas en su mayoría tienen superficies cóncavas a convexas y en el caso de bordes se tiene mayor cantidad de bordes cóncavos y ningún borde convexo. El menor alabeo alcanzado fue el G-22 con 0.718 mm y el mayor alabeo alcanzado fue el G-23 con 1.858 mm. Por lo que se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento del alabeo:

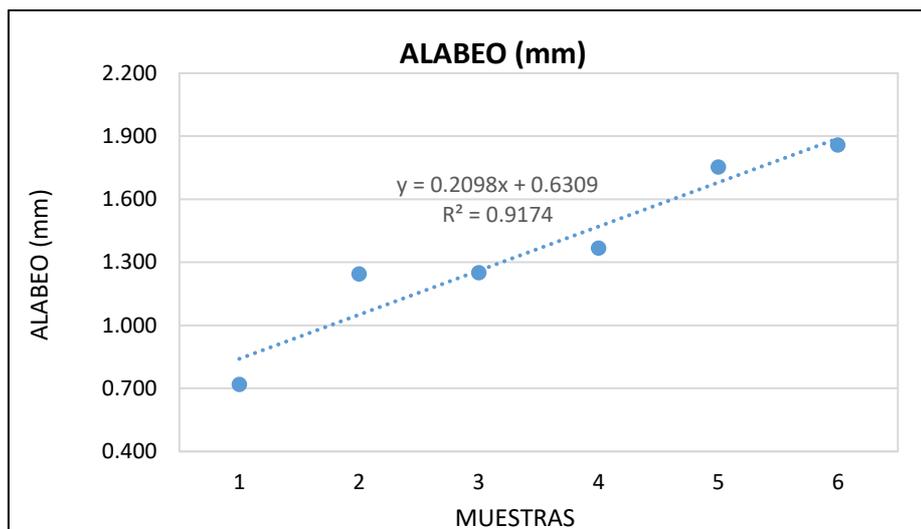


Figura 5.6: Gráfico de la tendencia del comportamiento del alabeo

c) Absorción

Para realizar el ensayo de absorción se utilizó la NTP 399.604:2002 (Revisión 2015); y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso en estado endurecido a los 28 días, donde se registró los pesos en kg en las condiciones de saturado, sumergido y secado al horno; y se obtuvo los siguientes datos y cálculos:

Tabla 5.26: Ensayo de absorción

MUESTRA N°	PESO SATURADO 24 HORAS (kg)	PESO SUMERGIDO (kg)	PESO SECO (kg)	ABSORCIÓN (kg/m³)	ABSORCIÓN (%)
1	3.46	0.73	2.52	344.55	37.4%
2	3.45	0.72	2.51	345.51	37.6%
3	3.51	0.74	2.55	345.85	37.6%
4	3.51	0.72	2.52	355.57	39.3%
5	3.55	0.74	2.58	347.00	38.0%
6	3.51	0.74	2.55	347.15	37.8%
PROMEDIO				347.605	37.95%

Interpretación:

a) De los resultados de la tabla 5.26 se tiene que el promedio de la absorción es 347.605 kg/m³ y en porcentaje es 37.95% y en función a

los parámetros de aceptación de la unidad de la Norma E. 070 que menciona que, para efectos de aceptación de la unidad de albañilería de concreto, la absorción no debe ser mayor al 12%; por tanto, las unidades no cumplen con lo establecido en esta norma.

- b) En la tabla 5.26 se observa que la absorción de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso varía en 37.4%; 37.6%, 37.6%; 39.3%; 38.0% y 37.8%. La menor absorción alcanzada fue del G-7 con 37.4% y la mayor absorción alcanzada fue el G-10 con 39.3%. Por lo que se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento de la absorción:

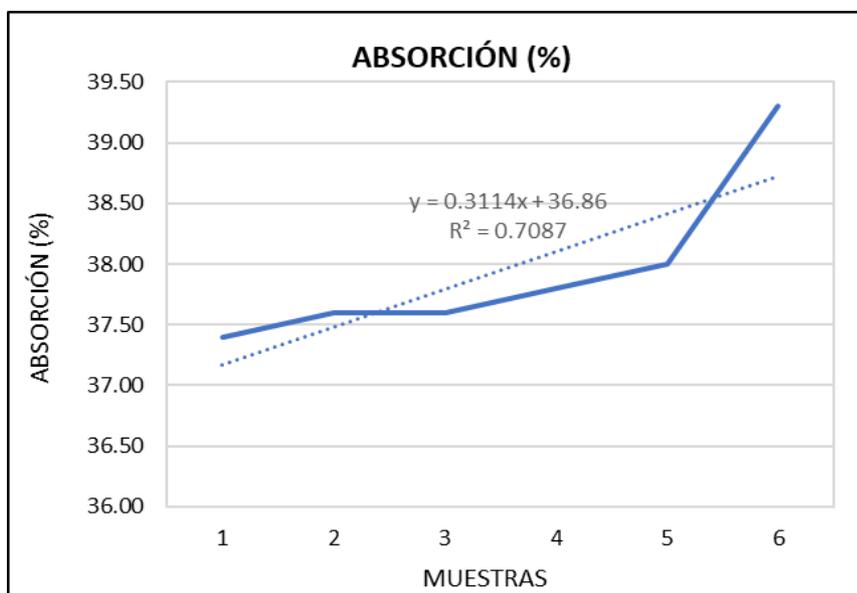


Figura 5.7: Gráfico de la tendencia del comportamiento de la absorción

d) Contenido de humedad

Para realizar el ensayo de contenido de humedad se utilizó la NTP 399.604:2002 (Revisión 2015); y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso en estado endurecido a los 28 días, donde se registró los pesos en kg en las condiciones de saturado, secado al horno y peso inicial de recibido; y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 5.27: Ensayo de contenido de humedad

MUESTRA N°	PESO SATURADO 24 HORAS (kg)	PESO SUMERGIDO (kg)	PESO SECO (kg)	ABSORCIÓN (kg/m ³)	ABSORCIÓN (%)
1	3.46	0.73	2.52	344.55	37.4%
2	3.45	0.72	2.51	345.51	37.6%
3	3.51	0.74	2.55	345.85	37.6%
4	3.51	0.72	2.52	355.57	39.3%
5	3.55	0.74	2.58	347.00	38.0%
6	3.51	0.74	2.55	347.15	37.8%
PROMEDIO				347.605	37.95%

Interpretación:

- a) De los resultados de la tabla 5.27 se tiene que el promedio del contenido de humedad es 72.78% y como no hay parámetro de aceptación con respecto a la Norma E. 070, se dice que cumple.
- b) En la tabla 5.27 se observa que el contenido de humedad de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso varia en 74.3%, 74.2%, 73.0%, 70.8%, 71.6% y 72.8%. Donde el menor contenido de humedad alcanzado fue del G-10 con 70.8% y el mayor contenido de humedad alcanzado fue el G-7 con 74.3%. Por lo que se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento del contenido de humedad:

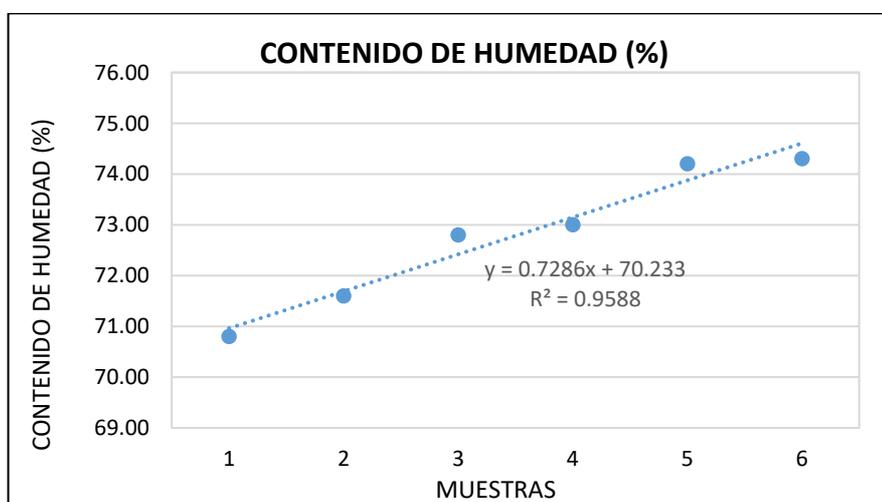


Figura 5.8: Gráfico de la tendencia del comportamiento del contenido de humedad

e) Densidad

Para realizar el ensayo de la densidad se utilizó la NTP 399.604:2002 (Revisión 2015); y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso en estado endurecido a los 28 días, donde se registró los pesos en kg en las condiciones de saturado, sumergido, y secado al horno; y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 5.28: Ensayo de densidad

MUESTRA N°	PESO INICIAL (kg)	PESO SATURADO 24 HORAS (kg)	PESO SUMERGIDO (kg)	PESO SECO (kg)	DENSIDAD (kg/m ³)
1	3.22	3.46	0.73	2.52	920.60
2	3.21	3.45	0.72	2.51	919.22
3	3.25	3.51	0.74	2.55	919.30
4	3.22	3.51	0.72	2.52	904.75
5	3.28	3.55	0.74	2.58	914.14
6	3.25	3.51	0.74	2.55	919.42
PROMEDIO					916.24

Interpretación:

- a) De los resultados de la tabla 5.28 se tiene que el promedio de la densidad es 916.24 kg/m³ y como no hay parámetro de aceptación con respecto a la Norma E. 070, se dice que cumple.
- b) En la tabla 5.28 se observa que la densidad de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso varía en 920.60 kg/m³, 919.22 kg/m³, 919.30 kg/m³, 904.75 kg/m³, 914.14 kg/m³ y 919.42 kg/m³. Donde la menor densidad alcanzada fue del G-10 con 904.75 kg/m³ y la mayor densidad alcanzada fue el G-7 con 920.60 kg/m³. Por lo que se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento de la densidad de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso:

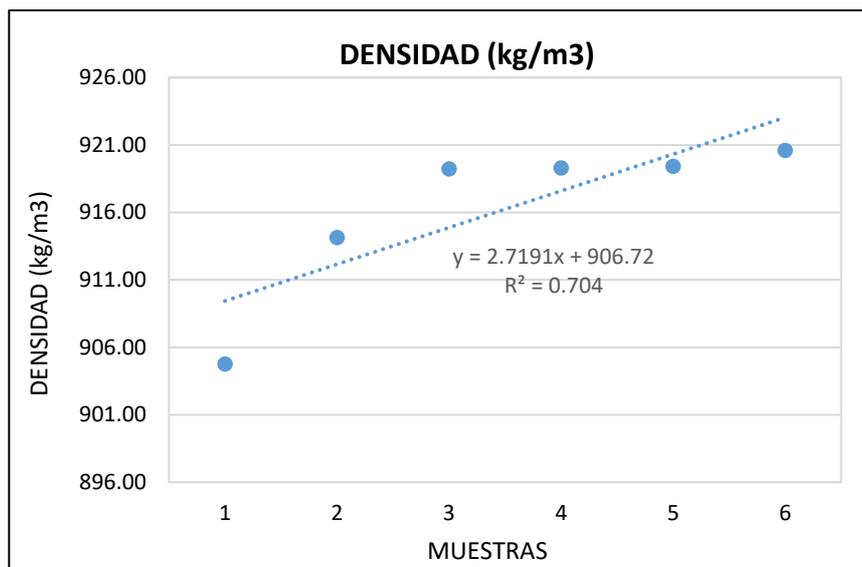


Figura 5.9: Gráfico de la tendencia del comportamiento de la densidad

f) Succión

Para realizar el ensayo de succión se utilizó la NTP 399.613:2017; y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso a una edad de 28 días, donde se registró los pesos en g en la condición de saturado y peso inicial de recibido; y se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 5.29: Ensayo de succión

MUESTRA N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	PESO INICIAL (g)	PESO SATURADO (g)	SUCCIÓN (g/cm²)
1	21.87	12.17	10.13	2518.3	2599.6	61.1
2	21.88	12.16	10.13	2510.4	2588.6	58.8
3	21.88	12.16	10.14	2548.3	2628.7	60.4
4	21.87	12.17	10.17	2516.3	2597.4	60.9
5	21.88	12.17	10.15	2576.8	2660.2	62.6
6	21.88	12.15	10.15	2547.8	2633.2	64.2
PROMEDIO						61.33

Interpretación:

- a) De los resultados de la tabla 5.29 se tiene que el promedio de la succión es 61.33 g/cm^2 y como no hay parámetro de aceptación con respecto a la Norma E. 070, se dice que cumple.
- b) En la tabla 5.29 se observa que la succión de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso varía en 61.1 g/cm^2 , 50.8 g/cm^2 , 60.4 g/cm^2 , 60.9 g/cm^2 , 62.6 g/cm^2 y 64.2 g/cm^2 . Donde la menor succión alcanzada fue del G-8 con 58.8 g/cm^2 y la mayor succión alcanzada fue el G-18 con 64.2 g/cm^2 . Se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento de la succión de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso:

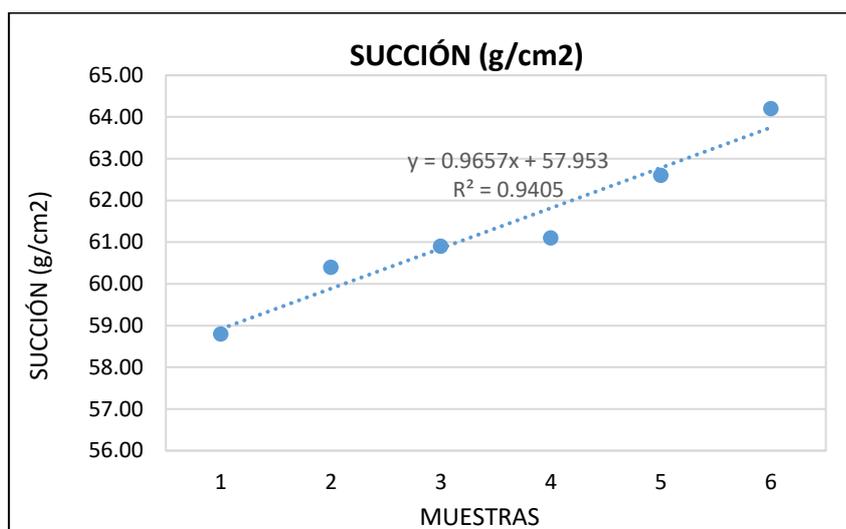


Figura 5.10: Gráfico de la tendencia del comportamiento de la succión

5.1.2.6 Propiedad mecánica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

a) Resistencia a la compresión

Para realizar el ensayo de resistencia a la compresión se utilizó la NTP 399.604:2002 (Revisión 2015); y se realizó el ensayo a 18 muestras de

unidad de albañilería de concreto celular espumoso a las edades de 7, 14 y 28 días; y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5.30: Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	ÁREA (mm ²)	CARGA (N)	CARGA (kN)	RESISTENCIA f _c (kg/cm ²)	RESISTENCIA f _c (MPa)
1	7	26402.01	28090	28.09	10.64	1.1
2	7	26637.23	29390	29.39	11.03	1.1
3	7	26397.74	24950	24.95	9.45	0.9
4	7	26524.04	29270	29.27	11.04	1.1
5	7	26615.03	27130	27.13	10.19	1.0
6	7	26600.62	25260	25.26	9.50	0.9
PROMEDIO					10.31	1.0

Tabla 5.31: Ensayo de resistencia a la compresión a 14 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	ÁREA (mm ²)	CARGA (N)	CARGA (kN)	RESISTENCIA f _c (kg/cm ²)	RESISTENCIA f _c (MPa)
1	14	26448.73	51240	51.24	19.37	1.9
2	14	26477.12	54490	54.49	20.58	2.1
3	14	26484.15	51360	51.36	19.39	1.9
4	14	26490.46	50940	50.94	19.23	1.9
5	14	26503.08	56470	56.47	21.31	2.1
6	14	26520.55	53920	53.92	20.33	2.0
PROMEDIO					20.04	2.0

Tabla 5.32: Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	ÁREA (mm ²)	CARGA (N)	CARGA (kN)	RESISTENCIA f _c (kg/cm ²)	RESISTENCIA f _c (MPa)
1	28	26624.29	107340	107.34	40.32	4.0
2	28	26621.87	108180	108.18	40.64	4.1
3	28	26637.30	107770	107.77	40.46	4.0
4	28	26635.72	103500	103.50	38.86	3.9
5	28	26645.10	108220	108.22	40.62	4.1
6	28	26647.17	103210	103.21	38.73	3.9
PROMEDIO					39.94	4.0

Tabla 5.33: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión

MUESTRA N°	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
1	10.64	19.37	40.32
2	11.03	20.58	40.64
3	9.45	19.39	40.46
4	11.04	19.23	38.86
5	10.19	21.31	40.62
6	9.50	20.33	38.73
PROMEDIO	10.31	20.04	39.94

Interpretación:

- a) De los resultados de la tabla 5.30; se tiene que el promedio de la resistencia a la compresión a los 7 días es $10.31 \text{ kg/cm}^2 \approx 1.0 \text{ MPa}$.
- b) De los resultados de la tabla 5.31; se tiene que el promedio de la resistencia a la compresión a los 14 días es $20.04 \text{ kg/cm}^2 \approx 2.0 \text{ MPa}$.
- c) De los resultados de la tabla 5.32; se tiene que el promedio de la resistencia a la compresión a los 28 días es $39.94 \text{ kg/cm}^2 \approx 4.0 \text{ MPa}$ y considerando lo mencionado en la norma técnica E.070 que, para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería para Bloque NP la resistencia mínima debe ser de 20.00 kg/cm^2 . Es decir, las unidades cumplen con lo preestablecido.
- d) En la tabla 5.33 se puede estimar el cambio de la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso que oscila a los 7 días entre los valores de 10.64 kg/cm^2 , 11.03 kg/cm^2 , 9.45 kg/cm^2 , 11.04 kg/cm^2 , 10.19 kg/cm^2 y 9.50 kg/cm^2 , a los 14 días oscila entre los valores de 19.37 kg/cm^2 , 20.58 kg/cm^2 , 19.39 kg/cm^2 , 19.23 kg/cm^2 , 21.31 kg/cm^2 y 20.33 kg/cm^2 , y a los 28 días oscila entre los valores de 40.32 kg/cm^2 , 40.64 kg/cm^2 , 40.46 kg/cm^2 , 38.86

kg/cm², 40.62 kg/cm² y 38.73 kg/cm². La resistencia a la compresión máxima alcanzada a los 28 días fue el valor de 40.64 kg/cm². Por lo que se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días; donde se puede estimar que es de tendencia creciente.

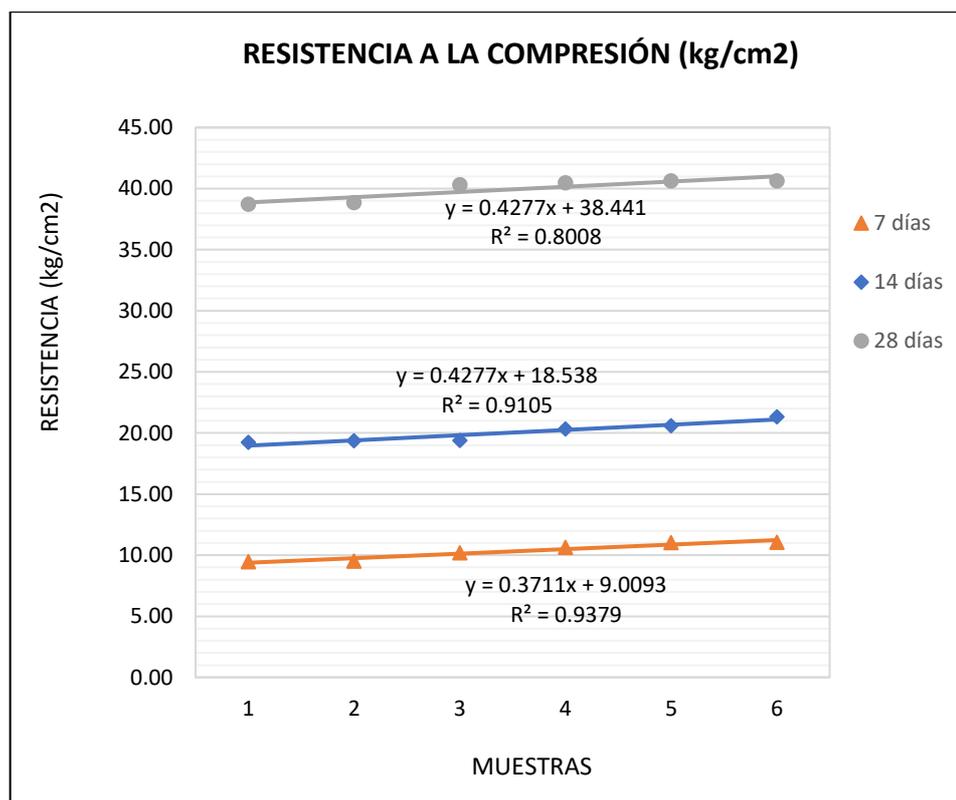


Figura 5.11: Gráfico de la tendencia de la resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días

5.1.2.7 Propiedades químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

a) Cloruros solubles

Para realizar el ensayo de cloruros solubles se utilizó la NTP 339.177:2002 (Revisión 2015); y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso a las edades de 14 y 28 días; y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5.34: Ensayo de cloruros solubles a 14 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	CLORUROS (mg/kg)	CLORUROS (%)
1	14	635	0.064
2	14	623	0.062
3	14	635	0.064
PROMEDIO		631	0.063

Tabla 5.35: Ensayo de cloruros solubles a 28 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	CLORUROS (mg/kg)	CLORUROS (%)
1	28	562	0.056
2	28	610	0.061
3	28	525	0.053
PROMEDIO		566	0.057

Interpretación:

- a) En la tabla 5.34 se observa que el contenido de cloruros solubles de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso oscila a los 14 días entre los valores de 635 mg/kg, 623 mg/kg y 635 mg/kg; así mismo se tiene que el promedio es 631 mg/kg \approx 0.063%.
- b) En la tabla 5.35 se observa que el contenido de cloruros solubles de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso oscila a los 28 días oscila entre los valores 562 mg/kg, 610 mg/kg y 525 mg/kg; así mismo el valor promedio es 566 mg/kg \approx 0.057% y cumple con la estipulación de la norma NTP 400.042, debido a que no excede a 1500 mg/kg \approx 0.150% que es el valor máximo de aceptación para concreto simple.
- c) De los resultados de las tablas 5.34 y 5.35 se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento del contenido de cloruros solubles a los 14 y 28 días, donde se aprecia un decrecimiento en función al tiempo:

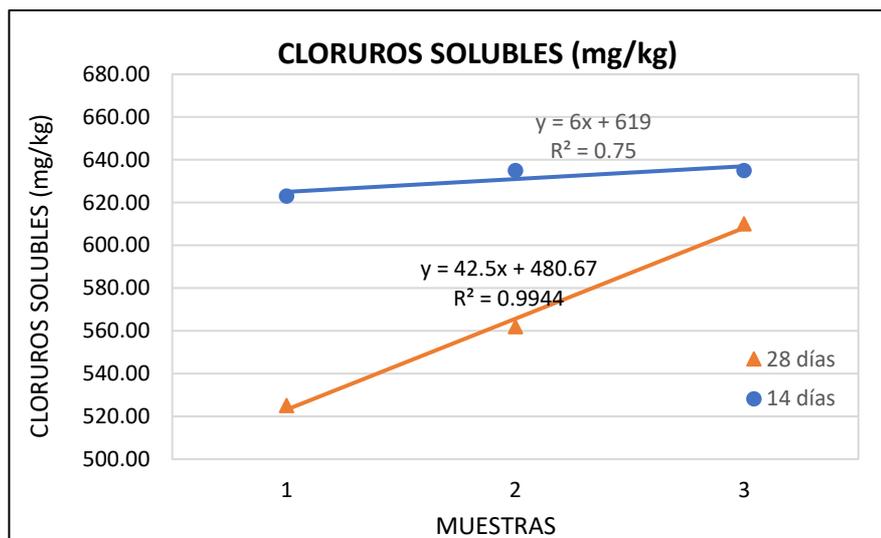


Figura 5.12: Gráfico de la tendencia del comportamiento de cloruros solubles

b) Sales solubles

Para realizar el ensayo de sales solubles se utilizó la NTP 339.152:2002 (Revisión 2015); y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso a las edades de 14 y 28 días; y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5.36: Ensayo de sales solubles a 14 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	SALES (mg/kg)	SALES (%)
1	14	5070	0.51
2	14	5310	0.53
3	14	5070	0.51
PROMEDIO		5150	0.52

Tabla 5.37: Ensayo de sales solubles a 28 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	SALES (mg/kg)	SALES (%)
1	28	2940	0.29
2	28	3030	0.30
3	28	2850	0.29
PROMEDIO		2940	0.29

Interpretación:

- a) En la tabla 5.36 se observa que el contenido de sales solubles de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso oscila a los 14 días entre los valores de 5070 mg/kg, 5310 mg/kg y 5070 mg/kg, así mismo se tiene que el promedio es 5150 mg/kg = 0.52%.
- d) En la tabla 5.37 se observa que el contenido de sales solubles de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso oscila a los 28 días entre los valores 2940 mg/kg, 3030 mg/kg y 2850 mg/kg; así mismo el valor promedio es 2940 mg/kg = 0.29% y cumple con la estipulación de la norma NTP 339.152 debido a que no excede el 3000 mg/kg = 0.30% que es el valor máximo de aceptación para concreto simple.
- b) De los resultados de las tablas 5.36 y 5.37 se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento del contenido de sales solubles a los 14 y 28 días y se puede observar que hay un decrecimiento en función al tiempo:

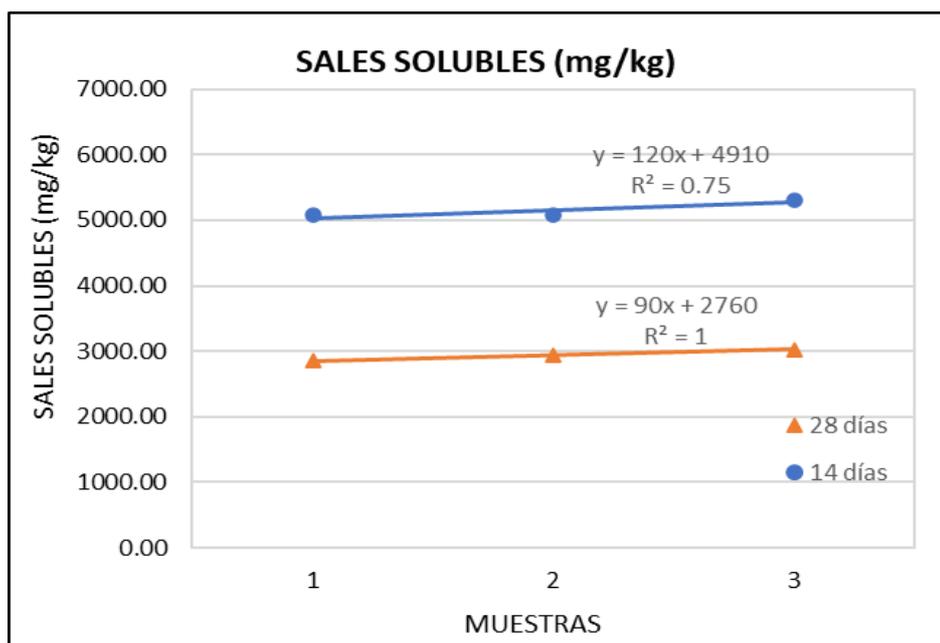


Figura 5.13: Gráfico de la tendencia del comportamiento de sales solubles

c) Sulfatos solubles

Para realizar el ensayo de sulfatos solubles se utilizó la NTP 339.178:2002 (Revisión 2015); y se realizó a 06 muestras de unidad de albañilería de concreto celular espumoso a las edades de 14 y 28 días; y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5.38: Ensayo de sulfatos solubles a 14 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	SULFATOS (ppm)	SULFATOS (%)
1	14	231	0.023
2	14	231	0.023
3	14	213	0.021
PROMEDIO		225	0.023

Tabla 5.39: Ensayo de sulfatos solubles a 28 días

MUESTRA N°	EDAD (Días)	SULFATOS (ppm)	SULFATOS (%)
1	28	200	0.020
2	28	188	0.019
3	28	184	0.018
PROMEDIO		191	0.019

Interpretación:

- En la tabla 5.38 se observa que el contenido de sulfatos solubles de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso oscila a los 14 días entre los valores de 231 ppm, 231 ppm y 213 ppm; así mismo se tiene que el promedio es 225 ppm = 0.023%.
- En la tabla 5.39 se observa que el contenido de sulfatos solubles de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso oscila a los 28 días oscila entre los valores 200 ppm, 188 ppm y 184 ppm, donde el máximo valor alcanzado fue de 200 ppm = 0.020%; así mismo el valor promedio

es 190.67 ppm \approx 0.019% y cumple con la estipulación de la norma NTP 400.042 debido a que no excede el 600 ppm \approx 0.060% que es el valor máximo de aceptación para concreto simple.

- c) De los resultados de las tablas 5.38 y 5.39 se tiene la gráfica de la tendencia del comportamiento del contenido de sulfatos solubles a los 14 y 28 días y se puede observar que hay un decrecimiento en función al tiempo:

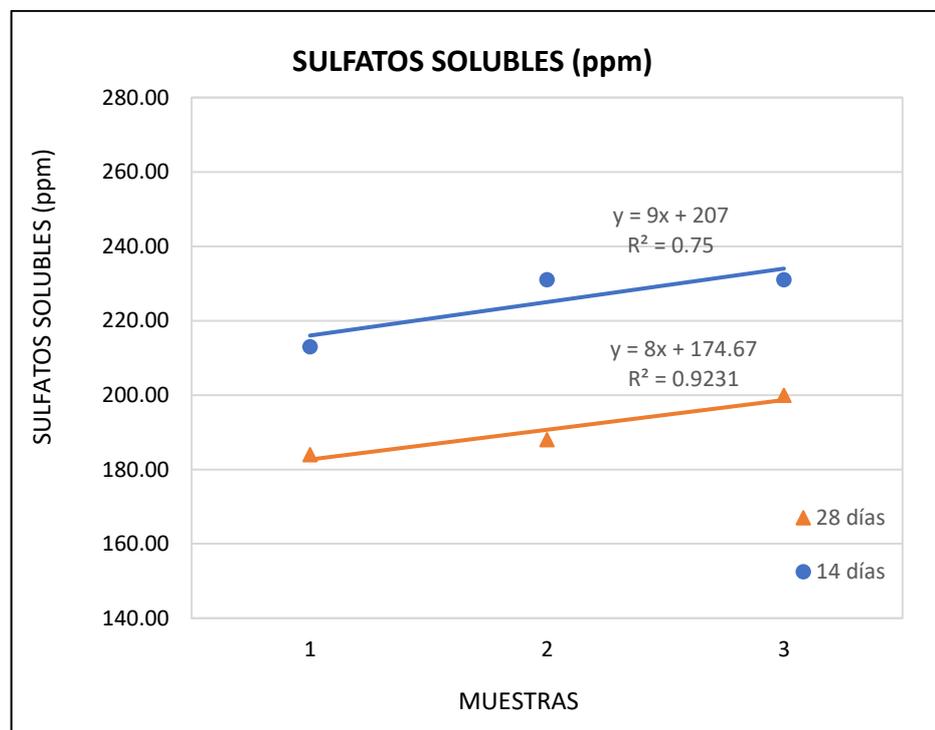


Figura 5.14: Gráfico de la tendencia del comportamiento de sulfatos solubles

5.1.3 Estimación de la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Para estimar la valoración operativa de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso, se realiza en función al tiempo de fabricación, considerando el proceso de elaboración mediante un esquema gráfico.

5.1.3.1 Esquema del proceso de fabricación de las unidades



Figura 5.15: Gráfico de secuencia del proceso de fabricación

Del gráfico anterior se tiene que: para la elaboración de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso se sigue una secuencia de pasos que tienen una ruta crítica, ya que no se puede evadir ningún paso.

5.1.3.2 Tiempo de fabricación de las unidades

Para el análisis del tiempo de fabricación de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso, se estimará los resultados en función a la secuencia de pasos de producción para la tanda de 10 unidades.

Tabla 5.40: Tiempo de fabricación de las unidades

UNIDAD DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO (0.10 X 0.12 X 0.22) m			
SECUENCIA DE PRODUCCIÓN (para 10 unidades)	MEDICIÓN POR TIEMPO		
	Cantidad (min)	Nº de veces	Parcial (min)
ADQUISICIÓN DE LOS MATERIALES			150
Extracción, encostalado y transporte del agregado fino	120	1	120
Compra del agente espumante	30	1	30
ELABORACIÓN DE UNIDADES			22
Preparación de los equipos y materiales			14
Preparación de equipos y herramientas	7	1	7
Preparación y pesado de materiales (arena, agua, cemento y agente espumante)	5	1	5
Elaboración de la espuma	2	1	2
Mezcla del concreto celular			5
Mezcla de los materiales	5	1	5
Moldeo de las unidades			3
Vaciado del concreto celular en el molde	3	1	3
DISPOSICIÓN DE UNIDADES			21600
Desmoldeo de las unidades			1440
Desencofrado de las unidades de albañilería	1440	1	1440
Curado de las unidades			10080
Curado en agua	10080	1	10080
Secado y apilamiento de las unidades			10080
Secado y apilamiento	10080	1	10080
		TOTAL	21772

Interpretación:

- a) En la tabla 5.40 se observa que el tiempo total de fabricación para 10 unidades de albañilería de concreto celular espumoso es de 21772 minutos = 362.87 horas = 15.12 días.
- b) De la tabla 5.40 se tiene que el tiempo total de la adquisición de los materiales es de 150 minutos = 2.5 horas, que comprende desde la

extracción, encostado y transporte del agregado fino y la compra del agente espumante.

- c) De la tabla 5.40 se tiene que el total de elaboración de las unidades es de 22 minutos \approx 0.37 horas, que comprende: la preparación de los equipos y materiales con 14 minutos \approx 0.23 horas, la mezcla del concreto celular con 5 minutos \approx 0.083 horas, y el moldeo de las unidades con 3 minutos \approx 0.05 horas.
- d) De la tabla 5.40 se tiene que el tiempo total de disposición de las unidades es de 21600 minutos \approx 360 horas \approx 15 días, que comprende: el desmoldeo de las unidades con 1440 minutos \approx 24 horas \approx 1 día, el curado de las unidades con 10080 minutos \approx 168 horas \approx 7 días, y un total de tiempo de secado y apilado de las unidades es de 10080 minutos \approx 168 horas \approx 7 días.
- e) De los resultados de la tabla 5.40 se tiene la gráfica de variación del tiempo de fabricación; donde se muestra la equivalencia del tiempo en porcentajes, considerando un tiempo de fabricación total al 100%:

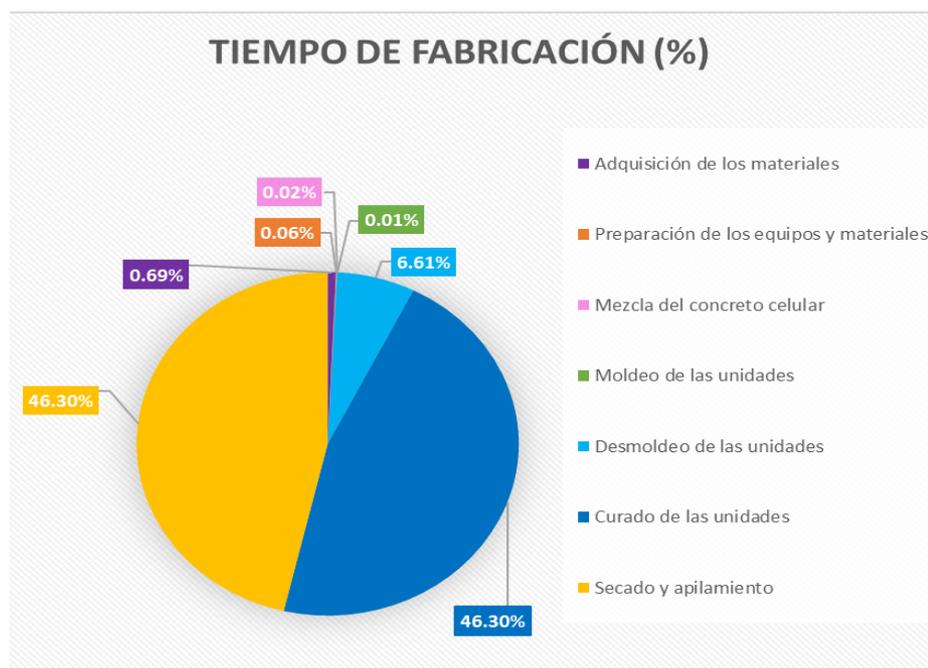


Figura 5.16: Gráfico de resultados de variación del tiempo de fabricación

5.1.4 Estimación de la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Para estimar la valoración económica de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso, se realiza en función a los costos de producción, y se considera los costos directos, indirectos y costo unitario total.

Tabla 5.41: Costo de producción de la unidad de albañilería

UNIDAD DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO (0.10 X 0.12 X 0.22) m							
Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Parcial x 1 und (S/.)	Parcial x 10 und (S/.)		
COSTOS DIRECTOS				S/	0.92	S/	9.15
Materiales				S/	0.49	S/	4.85
Cemento	bls	0.0097	28.50	S/	0.28	S/	2.77
Arena	m ³	0.0219	60.00	S/	0.13	S/	1.32
Agua	lt	0.0044	10.00	S/	0.04	S/	0.44
Agente espumante	lt	0.0007	36.90	S/	0.03	S/	0.27
Agua en el agente espumante	lt	0.0007	10.00	S/	0.01	S/	0.07
Mano de obra				S/	0.43	S/	4.30
Operario	hh	0.03	10.06	S/	0.25	S/	2.52
Peón	hh	0.03	7.10	S/	0.18	S/	1.78
COSTOS INDIRECTOS				S/	0.07	S/	0.70
Herramientas manuales 2%	glb	0.05	1.00	S/	0.04	S/	0.40
Fluido eléctrico	glb	0.05	1.00	S/	0.03	S/	0.30
COSTO UNITARIO TOTAL				S/	0.99	S/	9.85

Interpretación:

- En la tabla 5.41 se observa que el costo unitario total de producción de 01 unidad de albañilería de concreto celular espumoso es de 0.99 soles \approx 1 sol, y en 10 unidades es de 9.85 soles \approx 9.90 soles.
- De la tabla 5.41 se tiene que el total de costos directos de producción para 1 unidad es de 0.92 soles \approx 0.90 sol, y en 10 unidades es de 9.15

soles = 9.20 soles, que comprende: los materiales para 1 unidad con 0.49 soles = 0.50 soles, y la mano de obra para 1 unidad con 0.43 soles = 0.40 sol.

- c) De la tabla 5.41 se tiene que los costos indirectos de producción para 1 unidad son de 0.07 = 0.10 soles, y en 10 unidades son de 0.70 soles, que comprende: el costo por gasto del 2% de herramientas manuales con 0.04 soles y el costo por gasto de fluido eléctrico con 0.03 soles.
- d) De los resultados de la tabla 5.41 se tiene la gráfica de variación del costo de producción por unidad; donde se muestra la equivalencia de los costos en porcentajes, considerando el costo total unitario al 100%:

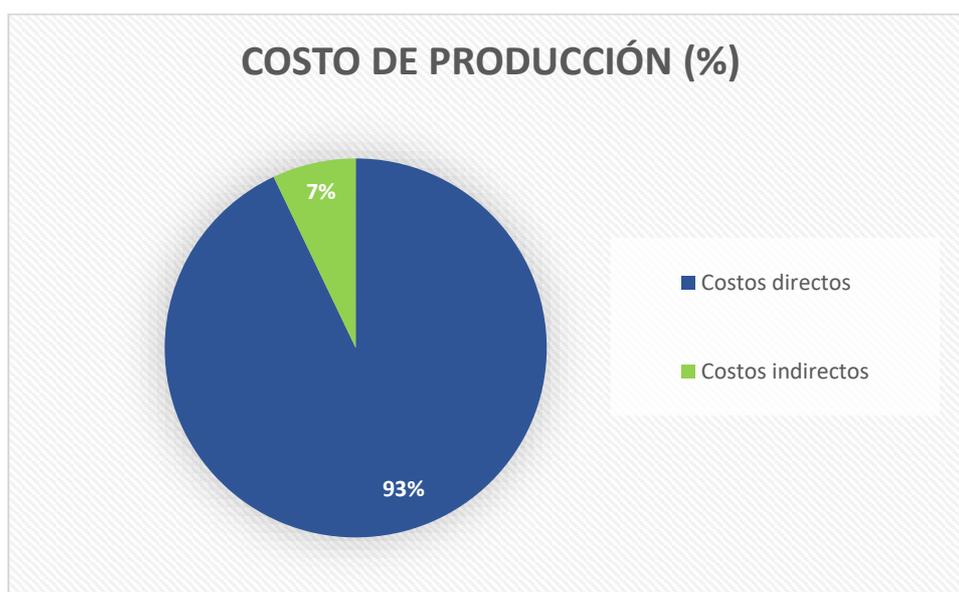


Figura 5.17: Gráfico de resultados de variación del costo de producción

5.1.5 Determinación del resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería

Para determinar el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería como viable o no viable, se realiza en función a la valoración de técnica, operativa y económica; y para ello se utilizará la escala de Likert.

Tabla 5.42: Escala de Likert para evaluar la factibilidad

VALORACIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
	1 punto	2 puntos	3 puntos	4 puntos	5 puntos
Técnica					
Operativa					
Económica					
Total					
Viable	si la suma es > a 10 puntos				
No viable	si la suma es < a 10 puntos				

5.2 Descripción de resultados

La descripción de resultados se realizó de acuerdo al orden de los objetivos específicos y objetivo general; la utilización de tablas y gráficos fueron mediante el software Microsoft Excel.

5.2.1 Resultado de la estimación de la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Para analizar el resultado de la estimación de la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, se usará la escala de Likert, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.43: Escala Likert de medición de la valoración

MEDICIÓN DE VALORACIÓN				
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Puesto que para evaluar sus propiedades físico-mecánicas se consideró las normas NTP 399.613 y NTP 399.604, y para evaluar sus propiedades químicas se consideró las normas NTP 400.042 y NTP 339.152.

Para el análisis de los resultados de las propiedades, se tiene en consideración lo estipulado en la Norma Técnica E.070: Albañilería, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.44: Resumen de resultados de las propiedades de las unidades vs norma

PROPIEDADES		SEGÚN NORMA	RESULTADOS	
1	Variabilidad dimensional	Largo (200 mm)	Más de 150 ±4	219.76
		Ancho (120 mm)	Hasta de 150 ±6	120.43
		Alto (100 mm)	Hasta de 100 ±7	103.89
2	Alabeo (mm)	Máx. 8.00	1.365	
3	Absorción (%)	Máx. 12%	37.95%	
4	Contenido de humedad (%)	-	72.78%	
5	Densidad (kg/m³)	-	916.24	
6	Succión (g/cm²)	-	61.3	
7	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Mín. 20.00	39.94	
8	Cloruros solubles (mg/kg)	Máx. 1500	566	
9	Sales solubles (mg/kg)	Máx. 3000	2940	
10	Sulfatos solubles (ppm)	Máx. 600	191	

Interpretación:

- a) De los resultados de la tabla 5.44, se tiene el cumplimiento y aceptación de la unidad con respecto a la variabilidad dimensional, alabeo, contenido de humedad, densidad, succión, resistencia a la compresión, cloruros solubles, sulfatos solubles y sales solubles; mientras que en la absorción no cumple por ser mayor al 12%, siendo un resultado desfavorable para la valoración.
- b) Dado los acontecimientos de los resultados de la tabla 5.44 y con respecto a la tabla 5.43, se tiene que: la estimación de la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, es de escala media, debido a que no cumple al 100% con la norma técnica E.070.

5.2.2 Resultado de la estimación de la valoración operativa de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso

Para analizar el resultado de la estimación de la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, se usará la escala de Likert según la tabla 5.43.

Tabla 5.45: Resumen de resultados del tiempo de fabricación de las unidades

SECUENCIA (para 10 unidades)	TIEMPO DE FABRICACIÓN	
	Minutos	%
Adquisición de los materiales	150	0.69%
Elaboración de unidades	22	0.10%
Disposición de unidades	21600	99.21%
TOTAL	21772	100%

Interpretación:

- a) Dado los acontecimientos de los resultados de la tabla 5.45 y con respecto a la tabla 5.43, se tiene que: la estimación de la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, es de escala alta, debido a que el tiempo de elaboración de 10 unidades es 22 minutos.

5.2.3 Resultado de la estimación de la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Para la evaluación de la factibilidad económica de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso se estimará los resultados, en función a los costos directos e indirectos de la elaboración de las unidades y se considera los materiales, mano de obra requerida.

Tabla 5.46: Resumen de resultados del costo de producción de la unidad

DESCRIPCIÓN	COSTO DE PRODUCCIÓN	
	S/.	%
COSTOS DIRECTOS	S/ 0.92	92.93%
Materiales	S/ 0.49	49.49%
Mano de obra	S/ 0.43	43.43%
COSTOS INDIRECTOS	S/ 0.07	7.07%
COSTO UNITARIO TOTAL	S/ 0.99	100%

Interpretación:

- a) Dado los acontecimientos de los resultados de la tabla 5.46 y con respecto a la tabla 5.43, se tiene que: la estimación de la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, es de escala alta, debido a que el costo total de 01 unidad es 0.99 soles.

5.2.4 Resultado de la determinación del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería

De los resultados de la estimación de la valoración técnica, operativa y económica se obtiene el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular como unidad de albañilería:

Tabla 5.47: Evaluación del estudio de la factibilidad de las unidades

VALORACIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
	1 punto	2 puntos	3 puntos	4 puntos	5 puntos
Técnica			x		
Operativa				x	
Económica				x	
Total	11 puntos				
Viable	si la suma es > a 10 puntos				
No viable	si la suma es < a 10 puntos				

Interpretación:

- a) Dado los resultados de la tabla 5.47, se interpreta que la evaluación del resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, se determina viable, en consecuencia, de la estimación realizada de la valoración técnica, operativa y económica con la suma de puntos igual a $11 >$ al mínimo de 10 puntos; donde la valoración técnica es media e igual a 3 puntos, la valoración operativa es alta e igual a 4 puntos y la valoración económica es alta e igual a 4 puntos.

5.3 Contrastación de hipótesis**5.3.1 Estimar la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las unidades de albañilería de concreto celular espumoso***Tabla 5.48: Regresión lineal – valoración técnica de las propiedades de la unidad*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.690643801
Coefficiente de determinación R^2	0.47698886
R^2 ajustado	0.424687746
Error típico	634.5677906
Observaciones	12

Para contrastar la hipótesis de la variabilidad técnica, se planteó las siguientes hipótesis estadísticas:

- H_0 : La valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, no es media.
- H_1 : La valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es media.

El método estadístico que se usó, es la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk debido a que la muestra es inferior a 50; donde el nivel de confiabilidad NC es al 95% y el nivel de significancia NS es al 5%; y se considera la regla de decisión siguiente: (Valor $p < \alpha$; H_0 se rechaza) y (Valor $p > \alpha$; H_0 se acepta).

Tabla 5.49: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la valoración técnica

	Valoración técnica	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Propiedades físicas, mecánicas y químicas	Según norma	1.000	12	1.000
	Diseño de unidad	0.566	12	0.859

El resultado obtenido de la evaluación de normalidad para la valoración técnica en la tabla 5.49, se tiene que (Valor $p=0.566 < \alpha=0.859$; H_0 se rechaza); sin embargo, dado que los niveles de significancia superan 0.05, se establece que se trata de una prueba paramétrica mediante el análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 5.50: Prueba de ANOVA para la valoración técnica

Análisis de varianza					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3672428.468	1	3672428.468	9.120051621	0.012896734
Intra-grupos	4026762.808	10	402676.2808		
Total	7699191.276	11			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-611.564 4364	390.549 4773	-1.5659 07707	0.1484 38587	-1481.7 629	258.634 0277	-1481.76 29	258.634 0277
Diseño de unidad	160.253 9171	53.0652 2447	3.0199 42321	0.0128 96734	42.017 22881	278.490 6055	42.0172 2881	278.490 6055

Según la tabla 5.50 el nivel de significancia es 0.013, siendo menor a 0.05 por tanto se rechaza la hipótesis nula H_0 y se considera válida la hipótesis alterna H_1 , por consecuencia, se determina que la valoración técnica con respecto a las propiedades de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es media.

5.3.2 Estimar la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Tabla 5.51: Regresión lineal – valoración operativa de la unidad

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98760023
Coefficiente de determinación R ²	0.97535421
R ² ajustado	0.96303131
Error típico	0.83625614
Observaciones	4

Para contrastar la hipótesis de la variabilidad operativa, se planteó las siguientes hipótesis estadísticas:

- H0: La valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, no es alta.
- H1: La valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.

El método estadístico que se usó, es la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk por que la muestra es inferior a 50; donde el nivel de confiabilidad NC es al 95% y el nivel de significancia NS es al 5%; y se considera la regla de decisión siguiente: (Valor $p < \alpha$; H0 se rechaza) y (Valor $p > \alpha$; H0 se acepta).

Tabla 5.52: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la valoración operativa

<i>Valoración operativa</i>	<i>Shapiro-Wilk</i>		
	<i>Estadístico</i>	<i>gl</i>	<i>Sig.</i>
Estándar	1.000	3	1.000
Tiempo de fabricación			
Diseño de unidad	0.754	3	0.767

El resultado obtenido de la evaluación de normalidad para la valoración operativa en la tabla 5.52, se tiene que (Valor $p=0.754 < \alpha=0.767$; H0 se rechaza); sin embargo, dado que los niveles de significancia superan 0.05, se establece que se trata de una prueba paramétrica mediante el análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 5.53: Prueba de ANOVA para la valoración operativa

<i>Análisis de varianza</i>							
	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>		
Inter-grupos	55.3513514	1	55.3513514	79.1497585	0.01239977		
Intra-grupos	1.39864865	2	0.69932432				
Total	56.75	3					

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	2.3310 8108	0.8829 7912	2.6400 1837	0.1185 0863	-1.468 07142	6.1302 3358	-1.468 07142	6.1302 3358
Diseño de unidad	0.8648 6486	0.0972 128	8.896 615	0.0123 9977	0.4465 9194	1.2831 3779	0.4465 9194	1.2831 3779

Según la tabla 5.53 el nivel de significancia es 0.012, siendo menor a 0.05 por tanto se rechaza la hipótesis nula H_0 y se considera válida la hipótesis alterna H_1 , por consecuencia, se determina que la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.

5.3.3 Estimar la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Tabla 5.54: Regresión lineal – valoración económica de la unidad

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.935507141
Coefficiente de determinación R^2	0.875173611
R^2 ajustado	0.85734127
Error típico	0.039251934
Observaciones	9

Para contrastar la hipótesis de la variabilidad económica, se planteó las siguientes hipótesis estadísticas:

- H_0 : La valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, no es alta.
- H_1 : La valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.

El método estadístico utilizado, es la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk por que la muestra es inferior a 50; donde el nivel de confiabilidad NC es al 95% y el nivel de significancia NS es al 5%; y se considera la regla de decisión siguiente: (Valor $p < \alpha$; H_0 se rechaza) y (Valor $p > \alpha$; H_0 se acepta).

Tabla 5.55: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la valoración económica

	Valoración económica	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Costo de producción	Estándar	1.000	6	1.000
	Diseño de unidad	0.614	6	0.829

El resultado obtenido de la evaluación de normalidad para la valoración económica en la tabla 5.55, se tiene que (Valor $p=0.614 < \alpha=0.829$; H_0 se rechaza); sin embargo, dado que los niveles de significancia superan 0.05, se establece que se trata de una prueba paramétrica mediante el análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 5.56: Prueba de ANOVA para la valoración económica

Análisis de varianza					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0.075615	1	0.075615	49.07788595	0.000210512
Intra-grupos	0.010785	7	0.001540714		
Total	0.0864	8			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0.0675	0.0285 15869	-2.3671 03066	0.0498 18027	-0.1349 29314	-7.0685 6E-05	-0.1349 29314	-7.0685 6E-05
Diseño de unidad	0.0355	0.0050 67403	7.0055 61073	0.0002 10512	0.0235 17496	0.0474 82504	0.0235 17496	0.0474 82504

Según la tabla 5.50 el nivel de significancia es 0.0002, siendo menor a 0.05 por tanto se rechaza la hipótesis nula H_0 y se considera válida la hipótesis alterna H_1 , por consecuencia, se determina que la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Estimación de la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Según los ensayos ejecutados y la escala de Likert se estimó que la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, es media; puesto que los resultados de las unidades con dosificación de R a/c 0.45 del diseño optimo al 2.0% de agente espumante se obtuvo: la densidad promedio de 916.24 kg/m³, la resistencia a la compresión promedio a los 28 días es 39.94 kg/cm² = 4.0 MPa, la absorción promedio es 347.605 kg/m³ = 37.95%; de las medidas dimensionales estándar (220, 120 y 100) mm, se tiene una variabilidad promedio de 12 unidades: en largo -0.24 mm, ancho -0.43 mm y altura -3.89 mm; la succión promedio de 61.3 g/cm², el contenido de humedad promedio de 72.78%, el alabeo promedio de 1.365 mm; el contenido promedio de cloruros solubles es 565.67 mg/kg = 0.056 %; el contenido promedio de sales solubles es 2940 mg/kg = 0.29%%; el contenido promedio de sulfatos solubles es 190.67 ppm = 0.019%. Del análisis de los resultados y considerando lo estipulado en la norma técnica E.070, se tiene que no se cumple al 100% en los requisitos de calidad y aceptación de la unidad, debido a la absorción que supera el 12%.

Al respecto Rojas (2020), con resultados concluye que: la dosificación óptima para el bloque de concreto ligero es C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400$ kg/m^3), porque obtuvo: la densidad promedio de 1390 kg/m^3 , la resistencia a la compresión promedio de 4.10 MPa, la absorción promedio de 256.46 kg/m^3 ; de las medidas dimensionales estándar (39, 9 y 19) cm, obtuvo que la variabilidad promedio de 10 bloques es: largo 1.1 mm, ancho -0.4 mm y altura -0.7 mm. Así mismo en su cálculo del peso concluye que: por m^2 de muro acabado de bloque de concreto ligero es 42% más ligero que el muro acabado de ladrillo King Kong 18 huecos. Dado sus resultados se puede apreciar con el cumplimiento con la mayoría de requisitos de la norma técnica E.070, por tanto, su valoración técnica en función a sus resultados estaría en el rango de alta.

6.2. Estimación de la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Según la escala de Likert se estimó que la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, es alta; puesto que los resultados del tiempo total de fabricación de 10 unidades es 22 minutos, sin considerar el tiempo de adquisición de materiales y la disposición de unidades. Del análisis de los resultados se deduce que el tiempo se reduciría más a media que la producción aumenta, y para ello se requiere de más moldes. Así mismo, por su densidad menor a 1000 kg/m^3 es más ligero para manipular y transportar, por lo que favorece y disminuye el tiempo de disposición de las unidades.

En relación con lo mencionado Aviles y Carrera (2023), tienen resultados diferentes y en su evaluación de la densidad identificaron una relación directa con la conductividad térmica, mostrando valores de 0.129 W/mK con un 0.05% de aditivo espumante y 0.052 W/mK con un 0.40% de aditivo espumante. Por tanto, los investigadores concluyeron que, al aumentar la cantidad de aditivo espumante en el concreto celular, se puede aumentar el asentamiento, reducir la densidad, disminuir la resistencia a la compresión y establecer una relación entre la densidad y la conductividad térmica; y para el uso en unidades de albañilería mediante bloques, es crucial que la densidad del concreto celular se sitúe entre 800 kg/m^3 y 900 kg/m^3 .

Puesto que al emplear un 0,10% de aditivo espumante, se obtiene una densidad de 808 kg/m³, dentro del rango requerido. Esta conclusión conlleva a que la valoración operativa sería más relevante por tener densidades entre 800 kg/m³ y 900 kg/m³, que son inferiores a lo obtenido en esta investigación; por tanto, calificaría con una valoración de alta a muy alta.

6.3. Estimación de la valoración de la factibilidad económica con respecto a la elaboración de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso

Según la escala de Likert se estimó que la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso, es alta; puesto que los resultados del costo total de producción por 1 unidad son de 0.99 soles y en comparación del costo por unidad con otras unidades de albañilería que oscilan entre 0.70 soles a 0.90 soles; el costo unitario obtenido es mayor. Del análisis de los resultados se deduce que el costo unitario se vuelve favorable al momento de transportar en camiones, ya que por su propiedad de densidad menor a 1000 kg/m³, el peso es más ligero y se puede transportar más cantidad de unidades a diferencia de otras unidades que por su peso tienen un límite de transporte. Por lo que se deduce que el costo total disminuye a grandes masas y es favorable para los constructores de la ciudad de Huancayo.

Al respecto Jorge (2023), con los resultados que obtuvo, realizó una valoración económica del costo total de un bloque de concreto celular elaborado con jabón líquido de 10 x 25 x 50 cm, el cual le dio como resultado un costo de S/. 13.61, sin embargo, en comparación a la empresa Bloques Perú, que distribuye sus bloques a un costo de S/. 10.59, haciendo una diferencia de S/. 3.02, por lo cual concluye que la sus bloques tiene un sobre costo respecto a los bloques de concreto celular elaborado de manera industrial, sin embargo, al ser elaborados de manera artesanal se eleva su costo ya que la cantidad producida es limitada. Por lo que, si hacemos una valoración económica, esta sería de media a alta; ya que como dice Jorge, esta depende de la cantidad producida.

6.4. Determinación del resultado del estudio de la factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería

Según la escala de Likert se determinó que el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería, es viable; puesto que el resultado de la suma de las valoraciones (técnica con 3 puntos, operativa con 4 puntos y económica con 4 puntos), hacen un total de 11 puntos > los 10 puntos mínimos que otorga la viabilidad. Del análisis de los resultados se deduce que la unidad de albañilería de concreto celular espumoso por sus propiedades y la disminución de tiempo y costo de transporte, tendría buena aceptación e incorporación para la construcción muros no portantes en la ciudad de Huancayo.

El investigador Marca (2023), realizó pruebas a sus bloques de concreto celular a base de detergente aniónico y los comparó con los bloques de concreto convencionales; llegando a la conclusión que el bloque de concreto celular presenta ventajas notables en cuanto al alabeo y su estabilidad dimensional; por otro lado la resistencia fue menor, pero cumple satisfactoriamente con lo establecido en la norma E.070 albañilería para muros no portantes. Según este hallazgo confirma la viabilidad y conveniencia de los bloques de concreto celular como una opción técnica adecuada y segura para la construcción de muros no portantes. Además, esta innovación podría tener un impacto significativo en la eficiencia y sostenibilidad de la industria de la construcción al ofrecer una alternativa prometedora.

A ello se suma Rojas (2020), que de sus resultados obtenidos menciona que la comparación entre el muro acabado de bloque de concreto ligero y el muro acabado de ladrillos King Kong 18 huecos revela que el primero es aproximadamente 42% más liviano (en relación al peso por metro cuadrado) y también es 31% más económico en términos de costo por metro cuadrado. Y como conclusión final, menciona que la implementación del bloque de concreto ligero en construcciones es viable porque ofrece un ahorro en costo y tiempo debido a sus características menor peso y precio unitario. Además, se destaca que las estructuras realizadas con este material presentan mejoras en las propiedades térmicas y acústicas respecto a las estructuras tradicionales.

CONCLUSIONES

Conclusión 1:

Se llega a la conclusión que el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, se determina viable en consecuencia de la estimación realizada con la escala de Likert; donde la suma de las valoraciones (técnica con 3 puntos, operativa con 4 puntos y económica con 4 puntos), hacen un total de 11 puntos > los 10 puntos mínimos que otorga la viabilidad. De este análisis, el presente estudio determina que la unidad de albañilería de concreto celular espumoso tendría buena aceptación e incorporación para la construcción muros no portantes en la ciudad de Huancayo.

Conclusión 2:

Se concluye que la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es media; y esta estimación se debe a que la propiedad de absorción es mayor al 12%, haciendo que no se cumpla al 100% con lo estipulado en la norma técnica E.070.

Conclusión 3:

Se concluye que la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta; y esta estimación es porque el tiempo de fabricación para 10 unidades sin considerar el tiempo de adquisición de materiales y la disposición de unidades es un total de 22 minutos y este tiempo reduciría más a media que la producción aumenta; para ello se requiere de más moldes. Así mismo, por su densidad baja y peso ligero, se puede manipular y transportar con facilidad, por lo que favorece y disminuye el tiempo de disposición de las unidades.

Conclusión 4:

Se concluye que la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta; a pesar que el costo unitario obtenido de 0.99 soles es mayor que otras unidades de albañilería que oscilan entre 0.70 a 0.90 soles. Esto se debe a que su propiedad de densidad es menor a 1000 kg/m^3 que lo hace más ligero y fácil de manipular, por lo que se puede transportar mayor cantidad que otras unidades de albañilería, de esta manera se aprecia una disminución del costo de transporte, la cual es favorable para los constructores de la ciudad de Huancayo.

RECOMENDACIONES

Recomendación 1:

Se recomienda para que las resistencias a la compresión de las unidades de albañilería sean mayores o iguales a 50 kg/cm^2 a los 28 días y de esta manera pasen de bloques no portantes a ser unidades que soporten cargas portantes de la clase de ladrillo tipo I o bloques P; se debe disminuir el % del contenido de espuma preformada al diseño de mezcla del concreto patrón (control), o reducir la dosificación a una R a/c 0.40. Así mismo recomendar que, si aplican el diseño propuesto para las unidades de albañilería de concreto celular espumoso, primero deben realizar la caracterización de los agregados y comparar, juntamente con las condiciones ambientales; ya que por ello pueden tener resultados diferentes a los obtenidos en este estudio.

Recomendación 2:

Se recomienda para que la valoración técnica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo 2023, pase de media a ser alta o muy alta. Todas las propiedades de las unidades tienen que tener aceptación de calidad según la norma técnica E.070; por lo que se debe realizar un estudio adicionando ensayos como contenido de vacíos para controlar la absorción y tener un mejor control en la mezcla de la espuma preformada con el concreto, de manera que no se eliminen las microburbujas y evitar una contracción por secado.

Recomendación 3:

Se recomienda para que la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, pase de alta a ser muy alta. Se debe contar con más moldes disponibles, de esta manera es probable que reduzca el tiempo y la producción con la economía aumenten; esta incertidumbre de probabilidad queda para futuras investigaciones o aplicaciones.

Recomendación 4:

Se recomienda para que la valoración económica con respecto de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, pase de alta a ser muy alta. Se evalúe la rentabilidad de la producción en grandes cantidades y hacer una simulación de comercialización.

Recomendación 5:

Se recomienda ampliar el estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, considerando otros tipos de factibilidad como: comercial, ambiental, política y legal, u otros; a su vez evaluar las demás propiedades del concreto celular que no se consideraron en esta investigación; o realizar una simulación de una edificación usando las unidades de albañilería de concreto celular espumoso para obtener otros datos que se puedan evaluar y crear una base de investigación para las futuras generaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABANTO CASTILLO, Tomás Flavio. 2013. *Análisis y diseño de edificaciones de albañilería*. Lima, Perú: San Marcos, 2013. 312 p. ISBN 978-9972-38-260-4.
2. ACI American Concrete Institute, ACI 116R-73: *Terminología de cemento y hormigón*. Reemplaza al ACI 116R-90, s.n., marzo 2000. Copyright ©.
3. ACI American Concrete Institute, ACI 523.3R-14: *Guía para concretos celulares superiores a 50 lb/ft³ (800 kg/m³)*. s.n., abril 2014. ISBN: 978-0-87031-885-6.
4. ACI American Concrete Institute, ACI 308R-16: *Guía para el curado externo del hormigón*. s.n., mayo 2016. ISBN: 978-1-942727-87-3.
5. AHMED KHALIL, Esraa. 2020. *Impacto del hormigón celular esterilizado en autoclave (AAC) en la modernidad. Construcciones: Un estudio de caso en la nueva capital administrativa egipcia*. Tesis (Maestría en Ciencias en Ingeniería de la Construcción), El Cairo, Egipto: Universidad Americana de El Cairo. Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2019. 184 pp.
6. AVILES, Aida y CARRERA, Ana. *Aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular*. Tesis de pregrado. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma, Facultad de ingeniería, 2023. 111 pp.
7. BARCIA, Kerlly y LINDAO, Alvaro. *Estudio de factibilidad para la aplicación de bloques de concreto celular a edificaciones en la ciudad de Guayaquil*. Tesis de pregrado. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias matemáticas y físicas, 2020. 138 pp.
8. BONILLA, Elssy y RODRIGUEZ, Penélope. 2000. *Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales*. 3a ed. Santafé de Bogotá: Ediciones Universidad de los Andes, 2000. s.n., ISBN 978-9586-95-838-7.
9. BUNGE, Mario. 2004. *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*. 3ra ed. México: © siglo xxi editores, s.a. de c.v., 2004. 807 pp. ISBN 968-23-2225-1.
10. CARRASCO DÍAZ, Sergio. 2006. *Metodología de la investigación*. 1era Edición. Lima, Perú: San Marcos, 2006. 474 pp. ISBN 9972-34-242-5.
11. CERVANTES ABARCA, Alejandro. 2013. *Memorias 2008. Congreso nacional de administración y tecnología para la arquitectura, ingeniería y diseño: Nuevas tecnologías en concretos*. México: universidad autónoma metropolitana, 2013. 162 pp.

12. COCK, Antonio. *Ficha técnica - Concreto celular*. Artículo de la Universidad EIA de Colombia, Facultad de ingeniería mecatrónica. Tesis de Pregrado, Vereda El Peñasco, Colombia. Mayo 2022.
13. DE OLIVEIRA, Cledson y otros. *Influência do aditivo espumígeno na dosagem e nas propriedades do concreto celular aerado*. Revista *VB Materia*, Brasil. Artículo e-11989, v.23, n.1, 2018. ISSN 1517-7076.
14. FEBRES BALLON, Geraldine Milagros. *Estudio de prefactibilidad para la elaboración de ladrillos ecológicos a base de material reciclado PET*. Tesis de pregrado. Lima, Perú: Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2021. 158 pp.
15. FIDIAS G., Arias. 2012. *El proyecto de investigación*. 6ta Edición. Caracas, Venezuela: Editorial EPISTEME, C.A., 2012. 143 pp. ISBN 980-07-8529-9.
16. GONZALES, Abel y otros. *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* 1 era Edición. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica, 2011. 219 pp. ISBN 978-612-46019-0-3.
17. HARMSSEN, Teodoro. 2002. *Diseño de estructuras de concreto armado*. 3a Edición, Lima, Perú: Fondo Editorial: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2002. 683pp.
18. HERNÁNDEZ, Roberto y otros. *Metodología de la investigación* .6 ta Edición. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V., 2014. 600 p. ISBN 978-1-4562-2396-0.
19. INEI, Instituto nacional de Estadística e Informática. 2018. *PERÚ: Características de las viviendas particulares y los hogares - Acceso a Servicios Básicos*” [en línea]. Lima: s.n., 2018 [Fecha de consulta: 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-pais-existen-mas-de-diez-millones-de-viviendas-particulares-censadas-10893/>
20. JORGE MOLINA, Washington. *Incidencia del jabón líquido en sus propiedades mecánicas y termoacústicas del bloque de concreto celular, como unidad de albañilería no estructural para la ciudad de Ayacucho*. Tesis de pregrado. Ayacucho, Perú: Universidad Tecnológica de los Andes, Facultad de ingeniería de minas, geología y civil, 2023. 154 pp.
21. MARCA CARDENAS, Nataly Maritza. *“Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros*

- no portantes*”. Tesis de pregrado. Abancay, Perú: Universidad Tecnológica de los Andes, Facultad de ingeniería, 2023. 133 pp.
22. MARTÍNEZ, Hugo y otros. *Concreto celular con espuma preformada y agregados ligeros*. Revista científica *Nexo*, Managua, Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería, v.36, n.4, pp. 495 505/septiembre 2023. ISSN-E E 1995 9516.
 23. MONJE ÁLVAREZ, Carlos Arturo. 2011. *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*. Colombia: Universidad Surcolombiana, Facultad de ciencias sociales y humanas, Programa de comunicación social y periodismo Neiva, 2011. 216 pp.
 24. NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. *Tecnología del concreto, materiales, propiedades y diseño de mezclas*, 3ra Edición. Colombia: Asocreto, Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2010. 228 pp. ISBN 978-958-8564-03-6.
 25. NTC Norma Técnica Colombiana, *Mortero premezclado para mampostería*. NTC 3356, 2da actualización. Editada por ICONTEC, Apartado 14237 Bogotá, Colombia. 2000. 12 pp. I.C.S.: 91.100.10
 26. NTP Norma Técnica Peruana, *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. NTP 399.604:2002 (revisada el 2015), 1ra Edición. Lima, Perú. 2015. 17 pp.
 27. NTP Norma Técnica Peruana, *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. NTP 399.613, 1ra Edición. Lima, Perú. 2017. 35 pp.
 28. NTP Norma Técnica Peruana, *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos*. NTP 399.602, 2da Edición. Lima, Perú: s.n., 2017.
 29. NTP Norma Técnica Peruana, *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos*. NTP 399.600, 3ra Edición. Lima, Perú: s.n., 2017.
 30. NTP Norma Técnica Peruana, *SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea*. NTP 339.177:2002, (revisada el 2015). Lima, Perú: s.n., 2015.
 31. NTP Norma Técnica Peruana, *SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea*. NTP 339.178:2002, (revisada el 2015). Lima, Perú: s.n., 2015.

32. NTP Norma Técnica Peruana, *SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de sales solubles en suelos y agua subterránea*. NTP 339.152:2002, (revisada el 2015). Lima, Perú: s.n., 2015.
33. ÑAUPAS, Humberto y otros. *Metodología de la investigación*. 5ta Edición. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2018. 560pp. ISBN 978-958-762-876-0.
34. PEZO MORALES, Pablo Adrián. *Influencia de la reducción de costos con el uso de bloques de concreto vibrado en los sistemas de autoconstrucción y en la efectividad de la calidad de vida de la ciudad de Huacho - Lima*. Tesis (Magister en gerencia de proyectos de ingeniería). Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villareal, Escuela Universitaria de Postgrado, 2018. 80 pp.
35. QUIROA, Myriam, 2020. *Estudio de factibilidad*. [en línea]. Economipedia.com. [Fecha de consulta: 02 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/estudio-de-factibilidad.html>.
36. RNE Reglamento Nacional de Edificaciones. *Norma Técnica E.070. Albañilería*. Lima, Perú: Ministerio Vivienda Construcción y Saneamiento. 2009. 439 pp.
37. ROJAS AYALA, Franzke Dante. *Diseño y elaboración de concreto ligero utilizad aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural*. Tesis de pregrado. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería civil, 2020. 163 pp.
38. VILLAVICENCIO, Yuri, 2012. *Que es un estudio de factibilidad*. [en línea]. Civilgeeks.com. [Fecha de consulta: 08 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2012/07/03/que-es-un-estudio-de-factibilidad/>
39. YOC CHAMALÉ, Jimmy Alexander. *Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada*. Tesis de pregrado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2018. 139 pp.
40. ZAMORA TERRONES, Lenin Pedro. *Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural*. Tesis de pregrado. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, 2015. 245 pp.

ANEXOS

- Anexo 1. Matriz de consistencia
- Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables
- Anexo 3. Matriz de operacionalización del instrumento
- Anexo 4. Validación del instrumento de la investigación
- Anexo 5. Panel fotográfico
- Anexo 6. Certificados de ensayos de laboratorio
- Anexo 7. Certificados de calibración de equipos y acreditación de ensayos

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO”						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>El resultado del estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo, se determina viable.</p>	<p>V1 (X):</p> <p>Estudio de factibilidad</p>	<p>D1: Técnica</p> <p>D2: Operativa</p> <p>D3: Económica</p>	<p>I1: Cumplimiento con la Norma técnica E.070</p> <p>I1: Análisis del tiempo de fabricación</p> <p>I1: Análisis de costos de producción</p>	<p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Método científico</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Básica</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Explicativo</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>a. ¿Cuál es la valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo?</p> <p>b. ¿Cuál es la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo?</p> <p>c. ¿Cuál es la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a. Estimar la valoración de la factibilidad técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo.</p> <p>b. Estimar la valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo.</p> <p>c. Estimar la valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a. La valoración técnica con respecto a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es media.</p> <p>b. La valoración operativa de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.</p> <p>c. La valoración económica de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso en la ciudad de Huancayo, es alta.</p>	<p>V2 (Y):</p> <p>Unidad de albañilería de concreto celular espumoso</p>	<p>D1: Propiedades físicas</p> <p>D2: Propiedad mecánica</p> <p>D3: Propiedades químicas</p>	<p>I1: Variabilidad dimensional</p> <p>I2: Alabeo</p> <p>I3: Absorción</p> <p>I4: Contenido de humedad</p> <p>I5: Densidad</p> <p>I6: Succión</p> <p>I1: Resistencia a la compresión (f'c)</p> <p>I1: Contenido de sales</p> <p>I2: Contenido de sulfatos</p> <p>I3: Contenido de cloruros</p>	<p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: Experimental</p> <p>POBLACIÓN: La población está conformada por 40 especímenes de unidades de albañilería de concreto celular espumoso, donde 10 especímenes son de control previo y 30 especímenes con el diseño óptimo que son para ensayar las propiedades físicas, mecánicas y químicas; y posteriormente evaluar la factibilidad técnica, operativa y económica.</p> <p>MUESTRA: La muestra está integrada por un total de 30 especímenes de unidades de albañilería de concreto celular espumoso sometidos a ensayos de laboratorio.</p>

ANEXO 2. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD/ ESCALA
<p>Variable dependiente (X):</p> <p>X: Estudio de factibilidad</p>	<p>El estudio de factibilidad es un análisis preliminar que se realiza para determinar la viabilidad y oportunidad de llevar a cabo un proyecto, ya sea en el ámbito empresarial o comercial. En el contexto de un proyecto de ingeniería civil, la factibilidad se refiere a la capacidad técnica, económica, operativa y de mercado del proyecto. (Bermúdez, 2017, p.16).</p>	<p>El estudio de factibilidad se operacionaliza mediante 3 dimensiones: valoración técnica, operativa y económica. Así mismo cada dimensión específica se subdivide en un indicador.</p>	<p>D1: Valoración técnica</p> <p>D2: Valoración Operativa</p> <p>D3: Valoración Económica</p>	<p>I1: Análisis de del cumplimiento con la norma técnica E.070</p> <p>I1: Análisis del tiempo de fabricación</p> <p>I1: Análisis de costos de producción</p>	<p>Fichas de recopilación de datos.</p>	<p>Valoración/ Likert</p> <p>- Muy baja</p> <p>- Baja</p> <p>- Media</p> <p>- Alta</p> <p>- Muy alta</p>
<p>Variable independiente (Y):</p> <p>Y: Unidad de albañilería de concreto celular espumoso</p>	<p>La unidad de albañilería de concreto celular espumoso se refiere a una unidad de albañilería ligera de baja densidad y alta resistencia.</p>	<p>La unidad de albañilería de concreto celular espumoso se operacionaliza mediante 3 dimensiones: propiedades físicas, mecánicas y químicas. Así mismo cada dimensión específica se subdividen en indicadores.</p>	<p>D1: Propiedades físicas</p> <p>D2: Propiedad mecánica</p> <p>D3: Propiedades y químicas</p>	<p>I1: Variabilidad dimensional</p> <p>I2: Alabeo</p> <p>I3: Absorción</p> <p>I4: Contenido de humedad</p> <p>I5: Densidad</p> <p>I6: Succión</p> <p>I1: Resistencia a la compresión (f^b)</p> <p>I1: Contenido de sales</p> <p>I2: Contenido de sulfatos</p> <p>I3: Contenido de cloruros</p>	<p>Fichas de recopilación de datos.</p>	<p>Razón / intervalo</p>

ANEXO 3. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
Variable dependiente (X): Estudio de factibilidad	Valoración técnica	Análisis del cumplimiento con la norma técnica E.070	Escala de Likert	<ul style="list-style-type: none"> - Muy baja - Baja - Media - Alta - Muy alta 	Descriptiva – numérica (cualitativa)
	Valoración Operativa	Análisis del tiempo de fabricación			
	Valoración Económica	Análisis de costos de producción			
Variable independiente (Y): Unidad de albañilería de concreto celular espumoso	Propiedades físicas	Variabilidad dimensional	Vernier	mm	Numérica (cuantitativa)
		Alabeo	Vernier	mm	
		Absorción	Horno/Balanza	porcentaje	
		Contenido de humedad	Horno/Balanza	porcentaje	
		Densidad	Balanza de Morh	kg/m ³	
		Succión	Horno/Balanza	porcentaje	
	Propiedad mecánica	Resistencia a la compresión (f [´] b)	Máquina de compresión simple	kg/cm ²	
	Propiedades químicas	Contenido de cloruros	Medidor de cloruros	mg/kg	
		Contenido de sales	Medidor de sales	mg/kg	
		Contenido de sulfatos	Medidor de sulfatos	ppm	

ANEXO 4. VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

SIMULACIÓN DE ANÁLISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS						
PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO						
AUTOR: Bach. GÁLVEZ SANABRIA, PIERINA ALESSANDRA						
I. INFORMACIÓN GENERAL						
UBICACIÓN:			Av. Mariscal Castilla N° 3960			
DISTRITO:	El Tambo	ALTITUD:	3.262 m			
PROVINCIA:	Huancayo	LATITUD:	12° 3' 14"			
REGIÓN:	Junín	LONGITUD:	75° 13' 14"			
II. D1V2: Propiedades físicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Variación dimensional	mm	Alabeo	mm	Absorción	%	
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 5:	Unidad:	Indicador 6:	Unidad:	
Contenido de humedad	%	Densidad	kg/m ³	Succión	g/cm ²	
III. D1V2: Propiedad mecánica de las unidad de albañilería de concreto celular espumoso						
Indicador 1:	Unidad:					
Resistencia a la compresión	kg/cm ² - Mpa					
IV. D1V2: Propiedades químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Cloruros solubles	mg/kg	Sales solubles	mg/kg	Sulfatos solubles	ppm	
V. D2V2: Tiempo de fabricación de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Adquisición de materiales	minutos	Elaboración de unidades	minutos	Disposición de unidades	minutos	
VI. D3V2: Costo de producción de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Costos directos	soles	Costos indirectos	soles	Costo unitario total	soles	
VII. D1V1: Valoración técnica del estudio de factibilidad						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Muy baja	1 punto	Baja	2 puntos	Media	3 puntos	
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 4:	Unidad:			
Alta	4 puntos	Alta	5 puntos			
VIII. D2V1: Valoración operativa del estudio de factibilidad						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Muy baja	1 punto	Baja	2 puntos	Media	3 puntos	
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 4:	Unidad:			
Alta	4 puntos	Alta	5 puntos			
IX. D3V1: Valoración económica del estudio de factibilidad						
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
Muy baja	1 punto	Baja	2 puntos	Media	3 puntos	
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 4:	Unidad:			
Alta	4 puntos	Alta	5 puntos			
TOTAL DE VALORACIÓN						
PROMEDIO DE VALORACIÓN						
7 0.778						
APELLIDOS Y NOMBRES:	Remigio Osando Jarause					
PROFESIÓN:	Ing. Civil					
REGISTRO CIP N°:	87680					
EMAIL:	r.jarausa@upla.edu.pe					
CELULAR:	973205510					



Firma del experto

SIMULACIÓN DE ANÁLISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO

AUTOR: Bach. GÁLVEZ SANABRIA, PIERINA ALESSANDRA

I. INFORMACIÓN GENERAL					
UBICACIÓN:		Av. Mariscal Castilla N° 3960			
DISTRITO:	El tambo	ALTITUD:	3 262 m		
PROVINCIA:	Huancayo	LATITUD:	12° 3' 14"		
REGIÓN:	Junín	LONGITUD:	75° 13' 14"		
II. D1V2: Propiedades físicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Variación dimensional	mm	Alabeo	mm	Absorción	%
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 5:	Unidad:	Indicador 6:	Unidad:
Contenido de humedad	%	Densidad	kg/m3	Succión	g/cm2
III. D1V2: Propiedad mecánica de las unidad de albañilería de concreto celular espumoso					
Indicador 1:	Unidad:				
Resistencia a la compresión	kg/cm2 - Mpa				
IV. D1V2: Propiedades químicas de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Cloruros solubles	mg/kg	Sales solubles	mg/kg	Sulfatos solubles	ppm
V. D2V2: Tiempo de fabricación de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Adquisición de materiales	minutos	Elaboración de unidades	minutos	Disposición de unidades	minutos
VI. D1V2: Costo de producción de la unidad de albañilería de concreto celular espumoso					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Costos directos	soles	Costos indirectos	soles	Costo unitario total	soles
VII. D1V1: Valoración técnica del estudio de factibilidad					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Muy baja	1 punto	Baja	2 puntos	Media	3 puntos
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 4:	Unidad:		
Alta	4 puntos	Alta	5 puntos		
VIII. D2V1: Valoración operativa del estudio de factibilidad					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Muy baja	1 punto	Baja	2 puntos	Media	3 puntos
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 4:	Unidad:		
Alta	4 puntos	Alta	5 puntos		
IX. D3V1: Valoración económica del estudio de factibilidad					
Indicador 1:	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
Muy baja	1 punto	Baja	2 puntos	Media	3 puntos
Indicador 4:	Unidad:	Indicador 4:	Unidad:		
Alta	4 puntos	Alta	5 puntos		
TOTAL DE VALORACIÓN					
PROMEDIO DE VALORACIÓN					

EXPERTO
C
1
1
1
1
0
1
1
1
1
8
0,889

APellidos y nombres:	<i>Sra. Luz M. Gálvez Piñero</i>
Profesión:	<i>Ing. Civil</i>
Registro CIP N°:	<i>98820</i>
EMAIL:	<i>galezpi@239@gmail.com</i>
CELULAR:	<i>984192223</i>


Firma del experto