



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

TEMA:

“DISEÑO DE UN BLOQUE SÓLIDO MACHIHEMRADO DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD $D=400 \text{ Kg/m}^3$ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c 1.5 \text{ (MPa)}$ ”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

EDINSON ALONSO GONZÁLEZ CRUZ
DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE

TUTOR:

ING. RICHARD RAMIREZ PALMA, Mg

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN BLOQUE SÓLIDO MACHIHEMBRADO DE HORMIGÓN CELULAR
DE DENSIDAD $D=400 \text{ Kg/m}^3$ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c 1.5 \text{ (MPa)}$ ”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ
DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE**

TUTOR:

ING. RICHARD RAMIREZ PALMA, Mg.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



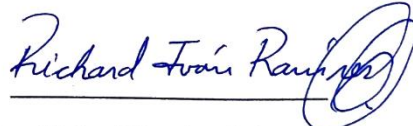
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Richard Ramírez Palma, Mg
DOCENTE TUTOR



Ing. Luis Perez Panchez, Msc
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Richard Ramírez Palma, Mg
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme la vida y la fortaleza necesarias para alcanzar mis metas. A mis padres, por ser mi apoyo incondicional y por inspirarme a seguir adelante en mi carrera. Su amor y aliento me han motivado a perseverar y a elegir siempre el camino correcto. A mi tutor docente, por compartir su sabiduría y guiarme en el desarrollo de este proyecto, lo que me ha permitido culminar esta etapa de mi vida.

Edinson Alonso González Cruz

Dedico este proyecto de titulación a Dios, por brindarme la fuerza y la sabiduría necesarias para superar cada etapa de mi vida y alcanzar mis objetivos. Este trabajo es un testimonio de mi crecimiento personal, que me ha ayudado a creer en mí mismo y a reconocer que soy capaz de enfrentar cualquier obstáculo.

A mis padres, Jaime Quimis y Jaqueline Pinoargote, por su apoyo incondicional, no solo en lo económico, sino también por sus valiosos consejos y su motivación diaria. Me han enseñado que puedo lograr todo lo que me proponga y que nunca debo rendirme ante las adversidades.

A mis hermanos, David e Ismael, por estar siempre a mi lado y ofrecerme su ayuda en los momentos más difíciles de mi vida universitaria y cotidiana.

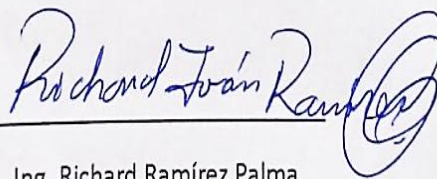
Y, en general, a toda mi familia, por extenderme la mano cuando más lo he necesitado. Su constante disposición para ayudarme ha sido fundamental en este camino. Espero que esta versión te guste y refleje adecuadamente tus sentimientos.

Denisse Jacqueline Quimis Pinoargote

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema "DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c 1.5 (MPa)", elaborado por el estudiante GONZALEZ CRUZ EDINSON y QUIMIS PINOARGOTE DENISSE, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 7 % de la valoración permitida.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Richard Ramírez Palma

C.I.: 0912246451



tesis hormigon celular

7%
Textos sospechosos

2% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

< 1% Idiomas no reconocidos

5% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: tesis hormigon celular.pdf
 ID del documento: 1204830c12bed46c104e3ea8c337270cca3a465d
 Tamaño del documento original: 1,55 MB
 Autores: []

Depositante: RICHARD IVAN RAMIREZ PALMA
 Fecha de depósito: 26/11/2024
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 26/11/2024

Número de palabras: 10.411
 Número de caracteres: 64.796

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6942/1/UPSE-TIC-2022-0006.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (199 palabras)

Fuente con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.unc.edu.pe Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación co... https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/643	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ** y **DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación “**DISEÑO DE UN BLOQUE SOLIDO MACHIHEMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kgf/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c 1.5 (MPa)**”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERIA**, Carrera de **INGENIERIA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

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

Atentamente,

AUTORES



EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ

Autor de Tesis

C.I. 2450041435



DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE

Autor de Tesis

C.I. 2450648130

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

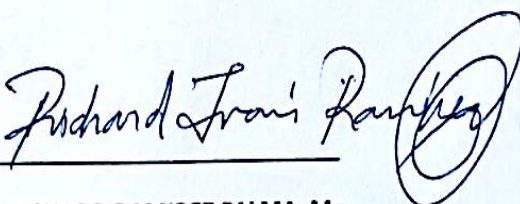
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c 1.5 (MPa)”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr **EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ** y la Srta. **DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE**, egresado de la **CARRERA DE INGENIERIA CIVIL** Facultad **CIENCIAS DE LA INGENIERIA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente,



Ing. RICHARD RAMIREZ PALMA, Mg

c.i. 091224645-1

DOCENTE TUTOR

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Que, he revisado el trabajo de Integración Curricular de título: “**DISEÑO DE UN BLOQUE SÓLIDO MACHIHEMRADO DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD $D=400$ Kgf/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f_c 1.5 (MPa)**”, elaborado por los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena: **GONZALEZ CRUZ EDINSON ALONSO & QUIMIS PINOARGOTE DENISSE JACQUELINE** previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Que, he realizado las observaciones pertinentes en los ámbitos de la gramática, ortografía y puntuación del documento, mismas que han sido acogidas proactivamente por los egresados, corroborando así, que han sido introducidos los ajustes correspondientes en el trabajo en mención.

Por lo expuesto, autorizo a los peticionarios, hacer uso de este certificado como a bien convenga.

Atentamente,



Lic. Alexi Javier Herrera Reyes
Magister en Diseño y Evaluación de Modelos Educativos
CC. 0924489255
Registro SENESCYT: 1050-14-86052904
Teléfono: 0962989420

La Libertad, a los 20 días del mes de noviembre de 2024.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por brindarnos salud, paciencia y la fortaleza necesaria para culminar nuestra carrera con éxito. A pesar de los desafíos, hemos sabido sobrellevar cada situación durante nuestra formación académica.

A nuestra familia, por ser siempre nuestros pilares fundamentales. Su apoyo moral y económico ha sido invaluable, y gracias a ello, hoy estamos en camino de convertirnos en grandes Ingenieros Civiles.

Agradecemos especialmente al Ing. Richard Ramírez Palma, nuestro tutor y guía en la elaboración de este trabajo de titulación. Su dedicación, conocimientos y tiempo han sido esenciales en cada paso que dimos.

Finalmente, queremos agradecer a la Universidad Estatal Península de Santa Elena y a todos los miembros de la facultad de Ingeniería Civil. Su disposición para compartir conocimientos y resolver nuestras dudas ha enriquecido nuestra experiencia universitaria.

Edinson González y Denisse Quimis

TABLA DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA	ix
.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
TABLA DE CONTENIDO.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.2 ANTEDECENTES.....	8
1.3 HIPÓTESIS	11
1.3.1. Hipótesis General	11
1.3.2. Hipótesis Específica	11
1.4 OBJETIVOS	12
1.4.1. Objetivo General	12
1.4.2. Objetivos Específicos	12
1.5. ALCANCE	12
1.6 VARIABLES.....	13
1.6.1 Variables Dependientes:	13
1.6.2 Variables Independientes	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14

2.1 Definición del hormigón	14
2.1.1 Hormigón Celular	14
2.1.2 Densidad y Resistencia	15
2.2 Hormigón liviano	15
2.3 Clasificación del hormigón liviano	15
2.3.1 Método de producción	15
2.3.2 Hormigón celular con espumante.	15
2.3.3 Hormigón celular con base de espuma	15
2.3.4 Espumógenos	16
2.4 Métodos para la elaboración de un hormigón liviano o celular	16
2.4.1 Hormigón celular con inserción de burbuja	16
2.4.2 Hormigón celular a base de gas	16
2.4.3 Hormigón celular a base de espuma	16
2.5. Aplicaciones	17
2.6. Ventajas del hormigón celular	18
2.7 Desventajas del hormigón celular	18
2.8 Características de los componentes del hormigón	19
2.8.1 Cemento Portland	19
2.8.1.1 Clasificación de cemento portland	20
2.9 Agua	23
2.10 Aditivos	24
.....	24
2.11 Espumante	25
2.11.1 Equipo para generar espuma	25
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1. Generalidades	26
3.2. Caracterización de los materiales	26
3.2.1 Cemento	26
3.2.2. Agua	27
3.2.3 Agente espumante	27
3.3. Diseño	29
3.4. Proceso de la elaboración del hormigón liviano	31

3.5 Resultados de la dosificación	32
3.6 Llenado y Curado	33
3.7 Ensayos del hormigón celular.....	33
3.7.1. Contenido de aire ASTM C231	33
3.7.2 Mesa de Flujo (Norma NTC 111)	37
3.7.3 Ensayo de Fraguado del hormigón (Aguja de Vicat) con la Norma NTE INEN 158	39
3.7.4 Ensayo de la Resistencia a la Compresión	41
3.7.5 Ensayo de peso específico y Absorción Norma ASTM C642	43
3.7.6 Ensayo de determinación a flexión	45
3.8 Moldes de bloques con diferente tipo de machihembrado.....	46
3.8.1 Ventajas Sobre los bloques	46
3.8.2 Presentación de diversos tipos de moldes	47
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS	49
4.1 Análisis de Permanencia del Hormigón	49
4.2. Contenido de Aire	50
4.4. Análisis del tiempo de fraguado del hormigón	52
4.5. Análisis de absorción y peso específico	52
4.6. Análisis de la resistencia a la compresión.....	53
4.7. Análisis de la resistencia a flexión	56
4.8 Análisis del precio unitario del hormigón celular	57
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
5.1 Conclusiones.....	58
5.2 Recomendaciones	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	63

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1_ Elementos que componen la elaboracion de espuma</i>	9
<i>Figura 2 Agente espumante, diferentes aditivos</i>	9
<i>Figura 3_ Mezclado de agregados</i>	19
<i>Figura 4_ Aditivo superplastificante reductor de agua</i>	24
<i>Figura 5_ Maquina Generadora de espuma</i>	25
<i>Figura 6_ Cemento Chimborazo HE</i>	27
<i>Figura 7 Agente espumante RV-2020</i>	28
<i>Figura 8_ Llenado de cilindros</i>	33
<i>Figura 9, Tiempo del graduado del hormigón celular</i>	34
<i>Figura 10 Contenido de aire en la mezcla de Hormigón celular</i>	36
<i>Figura 11 Fluidez de la mezcla de hormigon celular</i>	38
<i>Figura 12._ Aparato de Vicat (manual)</i>	40
<i>Figura 13 Modelos de fracturas</i>	41
<i>Figura 14 Ensayo de Resistencia a la compresion</i>	43
<i>Figura 15 Peso específico y absorcion del hormigón</i>	45
<i>Figura 16 Machihembrado en la parte sup e inf</i>	47
<i>Figura 17 Bloque machihembrado en sus laterales</i>	48
<i>Figura 18 Bloque en sus 4 laterales machihembrados</i>	48
<i>Figura 19 Permanencia del Hormigón</i>	49
<i>Figura 20 Curva reistencia a la compresión de las muestras con espuma de densidad $D=460 \text{ Kg/m}^3$</i>	53
<i>Figura 21 Curva de resistencia a la compresión de la muestra con densidad $D= 479 \text{ Kg/cm}^3$</i>	54
<i>Figura 22 Curva de Resistencia a la compresión de la muestra con densidad $D= 490\text{Kg/cm}^3$</i>	54
<i>Figura 23 Curva de Resistencia a la compresión de la muestra con densidad $D= 490\text{Kg/cm}^3$</i>	55
<i>Figura 24 Curva comparativa de Resistencia a la compresion de la elaboracion del hormigón celular</i>	55
<i>Figura 25 Determinación de Flexión</i>	56

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. _ Requisitos físicos de tipos de cemento portland</i>	22
<i>Tabla 2. _ Analisis del agua de amasado y curado</i>	23
<i>Tabla 3 Datos Técnicos del agente espumante</i>	28
<i>Tabla 4 Datos preliminares de los materiales utilizados</i>	29
<i>Tabla 5 Diseño para 1m³ de hormigón celular</i>	31
<i>Tabla 6, Resultados de la mezcla patron elaborado de hormigón celular (400 kg/m³)</i>	32
<i>Tabla 7 Resultados de Permanencia del hormigón celular</i>	49
<i>Tabla 8 Resultados de la mezcla a través del contenido de Aire con una densidad de 400Kg/m³</i>	51
<i>Tabla 9 Resultados de Fluidéz de la mezcla del Hormigón Celular</i>	51
<i>Tabla 10 Resultados del tiempo de Fraguado del hormigón celular</i>	52
<i>Tabla 11 Resultados de Absorción y Peso Específico del Hormigón Celular</i>	53
<i>Tabla 12 Resultados a la resistencia a la compresión de la muestra con cemento, agua y espuma de densidad de 460 Kg/m³</i>	53
<i>Tabla 13 Resultados a la resistencia a la compresion de la muestra con cemento, agua y espuma de densidad de D=479Kg/m³</i>	54
<i>Tabla 14 Resultados a la resistencia a la compresión de la muestra con cemento, agua y espuma de densidad de D= 490Kg/m³</i>	54
<i>Tabla 15 Resultados a la Resistencia a la compresión de la muestra con Cemento, agua y espuma de densidad de D= 490Kg/m³</i>	55
<i>Tabla 16 Tiempo vs Esfuerzo de flexión</i>	56
<i>Tabla 17 Resultados del Analisis de Precio unitario para 1 m³ del hormigón celular</i>	57

LISTA DE ANEXOS

<i>ANEXO 1</i> Peso unitario y contenido de aire del hormigón celular (400Kg/m3).....	63
<i>ANEXO 2</i> Determinación del porcentaje de fluidez del hormigón celular	64
<i>ANEXO 3</i> Tiempo de fraguado del hormigón celular	65
<i>ANEXO 4</i> Resultados de Resistencia a la compresión del hormigón celular (400Kg/m3)	66
<i>ANEXO 5</i> Resultados de Resistencia a flexión del hormigón celular (400Kg/m3)	68
<i>ANEXO 6</i> Análisis de precio unitario con 4 maestros de obra	69
<i>ANEXO 7</i> Análisis de precio unitario con dos máquinas generadoras de espuma, 2 taladros manual, y 4 maestros de obra	70
<i>ANEXO 8</i> Análisis de precio unitario con 3 maestros de obra, 3 albañiles y 3 peones	71
<i>ANEXO 9</i> Análisis de precio unitario con 4 maestros de obra, 2 albañiles y 3 peones	72
<i>ANEXO 10</i> Análisis comparativo de precio unitario de bloque celular	73
<i>ANEXO 11</i> Análisis comparativo de precio unitario de bloque	74
<i>ANEXO 12</i> FABRICACIÓN DE ESPUMA.....	75
<i>ANEXO 13</i> MEZCLA DE HORMIGÓN SEGÚN LA NORMA ACI 523.1R-06.....	76
<i>ANEXO 14</i> ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	77
<i>ANEXO 15</i> PRESENTACIÓN DE MOLDES	78

RESUMEN

TÍTULO: “DISEÑO DE UN BLOQUE SÓLIDO MACHIHEMRADO DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD $D=400 \text{ Kg/m}^3$ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c 1.5$ (MPa)”

Autores: GONZALEZ CRUZ EDINSON

QUIMIS PINOARGOTE DENISSE

Tutor: Ing. RAMIREZ PALMA RICHARD

El bloque machihembrado de hormigón celular, con una densidad de $D=400 \text{ kg m}^3$, es un material de baja densidad diseñado para aplicaciones de mampostería no estructural. Su naturaleza liviana lo clasifica como un bloque tipo B, ideal para construcciones donde se requiere un peso reducido. Esta investigación se fundamentó en las normas ASTM, INEN y ACI, que sirven como guía esencial para el diseño y la implementación de este tipo de materiales en proyectos constructivos.

El proceso de elaboración de hormigón celular se realizó con cemento He de tipo industrial, con agua potable, y el RV2020, en lo que se realizó los ensayos en el laboratorio tanto a flexión y compresión para obtener buenos resultados y así llegar a un diseño óptimo para su elaboración, el proceso de secado o curado fue dentro de la piscina, sumergido totalmente durante 3 días sin alterar su fraguado. La investigación se basa en lanzar al mercado un diseño de bloque de tipo machihembrado que puede enlazarse entre sí, sin necesidad de ubicarle mortero para adherirlo y así pueda reducir costos de materiales.

PALABRAS CLAVE: flexión, compresión, mampostería, curado, RV2020.

ABSTRACT

TITULO: “DESIGN OF A SOLID TONGUE AND GROOVE BLOCK OF CELLULAR CONCRETE WITH DENSITY $D=400 \text{ Kg/m}^3$ AND COMPRESSION RESISTANCE $f_c 1.5 \text{ (MPa)}$ ”

Autores: GONZALEZ CRUZ EDINSON

QUIMIS PINOARGOTE DENISSE

Tutor: Ing. RAMIREZ PALMA RICHARD

The tongue and groove block of cellular concrete with density $D = 400 \text{ kg / m}^3$ is a low density block and its use is for non-structural masonry because it is a lightweight block of type b, the research was based on ASTM - INEN - ACI standards which is a guide to design,

The process of making cellular concrete was carried out with industrial type He cement, with drinking water, and RV2020, in which the tests were carried out in the laboratory both in bending and compression to obtain good results and thus reach an optimal design for its elaboration, the drying or curing process was inside the pool totally submerged for 3 days without altering its setting, the research is based on launching a tongue and groove type block design to the market that can be linked together, without the need to place mortar to adhere it and thus can reduce material costs.

KEYWORDS:

bending, compression, masonry, curing, RV2020

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El hormigón celular es el material más utilizado en el sector de la construcción. Sus características y beneficios lo convierten en un material ideal para la demanda de viviendas y edificios. Por esta razón, son necesarios estudios técnicos capaces de mejorar las propiedades o métodos de producción del hormigón celular amigables con el ambiente, con la capacidad de afrontar los fenómenos de la naturaleza.

El diseño del hormigón celular debe cumplir con los parámetros técnicos del Instituto Ecuatoriano de Normalización ((INEN), 2014), este determina las condiciones físicas y mecánicas del hormigón obtenido a través de pruebas en laboratorios que garanticen la calidad del producto final, sean estos bloques, paneles, losas, bases de pavimentación, etcétera.

En referencia al enfoque de investigación, este trabajo corresponde al experimental, de diseño preexperimental porque el hormigón celular para la elaboración de bloques, se someterá a pruebas y ensayos. Como indica (Focil.A, 2006) se manipulará la variable independiente, en este caso la composición del hormigón celular para observar los efectos de la variable dependiente (resistencia a compresión). Con este fin, se aplicará la técnica de la observación del fenómeno y los instrumentos para la recolección de datos como las fichas de observación y el registro de pruebas de resistencia.

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la industria de obras civiles, se lo realiza sin lugar a duda con cemento que es un polvo finamente molido que contiene compuestos de silicatos de calcio y en pocas proporciones de aluminatos de calcio que al ser mezclado con agua y otros componentes ya sea agregado fino (arena), agregado grueso (grava), se obtiene una pasta que fragua y se endurece. Y

como producto o reacción química se obtiene lo que es el hormigón que es una masa con característica similar a la de una roca (CONCRETE, Cmento Portland, 2021).

Como expresa (Arcos, 1976) que una forma de reducir el peso del concreto es reemplazar los agregados gruesos con aire, porque cuando se agrega aire, se forman burbujas en el concreto, que ocupan espacio en la mezcla, y se produce el correspondiente endurecimiento, dándoles más peso a las burbujas de aire al material.

El hormigón se produjo por primera vez en Suecia en el año de 1929 mediante una bomba que genera espuma. Antes de la Primera Guerra Mundial, los bloques de mampostería no portantes se fabricaban con hormigón celular, más tarde debido a la buena aceptación se produjeron unidades reforzadas. (Focil.A, 2006).

Existen dos métodos principales para la fabricación de hormigón celular: el método químico y el método espumoso.

Método químico: Este proceso implica la adición de diferentes tipos de aditivos químicos, que pueden presentarse en forma de polvo o líquido. Estos aditivos reaccionan con los componentes del hormigón, generando burbujas de aire que contribuyen a la ligereza del material.

Método espumoso: En este enfoque, se genera espuma que se incorpora a la mezcla de hormigón. La espuma puede ser añadida de dos maneras: internamente, donde se mezcla con los otros componentes, o externamente, donde se produce antes de ser incorporada. La función principal de la espuma es atrapar aire en la mezcla, lo que mejora su manejabilidad y facilita el proceso de colocación.

Cabe destacar que la incorporación de espuma no solo optimiza la trabajabilidad del hormigón, sino que también contribuye a sus propiedades aislantes, tanto

térmicas como acústicas, mejorando así su desempeño en aplicaciones constructivas.

Sin embargo, la investigación se basa en obtener hormigones celulares con densidades de 400 Kg/m³ y con resistencia a la compresión a los 28 días a un aproximado de 1.5 (MPa) para que puedan ser utilizados en estructurales.

Una vez lograda la dosificación requerida para que cumpla con la densidad y resistencia propuesta se obtendrán las principales propiedades mecánicas del hormigón como son: módulo de elasticidad, módulo de corte y módulo de rotura que son de gran importancia para el análisis de un buen diseño.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La industria de la construcción al igual que otras, está sujeta a una constante evolución tecnológica. En la actualidad, aparecen productos innovadores en este rubro que cumplen con las condiciones y exigencias de un mundo cada vez más preocupado por el aprovechamiento de los recursos, que no impliquen un alto costo económico y que beneficie al mayor número de habitantes.

El hormigón celular, también conocido como hormigón aireado o espumoso, se presenta como una opción viable para la construcción de soluciones habitacionales que son seguras, económicas y confortables. Este material ligero se caracteriza por su estructura porosa, que le confiere excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico, lo que lo hace ideal para mantener un ambiente interior agradable.

Existen dos métodos principales para su fabricación: el método químico, que implica la adición de aditivos químicos en forma de polvo o líquido, y el método espumoso, que consiste en la incorporación de espuma a la mezcla. La espuma, ya

sea añadida internamente o externamente, tiene como objetivo atrapar el aire y homogeneizar la mezcla, mejorando así su manejabilidad durante la aplicación.

El uso del hormigón celular en la construcción no solo reduce los costos de materiales al permitir un ensamblaje eficiente de bloques machihembrados sin necesidad de mortero, sino que también contribuye a la sostenibilidad al requerir menos energía y materias primas en su producción. Además, su resistencia al fuego y durabilidad lo convierten en una opción segura para diversas aplicaciones en edificaciones. Todo gracias a (CONCRETE, HORMIGON CELULAR , 2021) sus propiedades como resistencia a la compresión, durabilidad, permeabilidad, entre otras.

La aparición del hormigón celular fue en Suecia, en 1914. Se mezcló cemento, cal, agua, arena fina y aluminio; luego se secó en una cámara de vapor presurizada lo que resultó en hormigón celular (Veliz Aguayo, 2023). Este material surge como una alternativa de material ligero frente al hormigón convencional. En Ecuador, el déficit de vivienda propia es un problema que el gobierno no ha podido solucionar. Cada año, se crean 87 000 nuevas familias, pero incluso en los mejores momentos, solo se construyen anualmente un máximo de 40 000 casas (HORA, ENE-2022)

En este sentido, Diario El Comercio cita datos del Ministerio de Vivienda para explicar que el déficit cualitativo comprende aquellas casas que, pese a no cumplir con las condiciones aceptables de calidad, son consideradas recuperables; en cambio, el déficit cuantitativo incluye las casas que no cumplen con las condiciones mínimas para ser habitadas según su calidad; y, por lo tanto, irrecuperables (EL COMERCIO, s.f.).

La falta de políticas claras para acceder a financiamientos y de una planificación adecuada de los asentamientos fuera de las zonas de riesgo son factores que agravan

más el déficit habitacional. Si a estos se añade la presencia de desastres naturales como sismos, deslaves, inundaciones, terremotos, etc., las pérdidas humanas y daños en la infraestructura son considerables.

El Plan de creación de oportunidades 2021-2025, establece en su objetivo 12 Fomentar modelos de desarrollo sostenible aplicando medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático que busca motivar las prácticas amigables con la naturaleza a través de la creación de nuevas tecnologías y producción eficiente (NACIONAL, 2021-2025). Pese a lo anterior, todavía se utiliza el hormigón tradicional en la construcción de viviendas, lo que implica altos costos, desperdicio de tiempo, de recursos y un alto impacto ambiental.

Después de una revisión bibliográfica se ha observado que el hormigón celular es un producto de múltiples posibilidades en el campo de la construcción y que su desarrollo e innovación dependen de varios factores. Por lo general, se tratan de mezclar los materiales del hormigón celular con otros alternativos y en los que se realizan ensayos para determinar sus propiedades y elaborar bloques de un cierto tamaño que pueda ser manejado manualmente y cumpliendo las normativas.

Las regulaciones locales en algunos países respecto a la construcción y modificación del hormigón celular aún no están del todo claras, por lo que se debe tener cuidado de establecer manuales y especificaciones muy estrictas ya que impiden el uso de hormigón ligero o hormigón celular en estructuras aparentemente inadecuadas, no deberían ser tan flexibles porque produciría el deterioro de la estructura y por lo tanto el artículo no es aceptado. (Jose, 2013)

Por esta razón, durante los ensayos para implementar el concreto celular y el producto final se usa la norma ((INEN), 2014) como la reglamentación suprema para la elaboración de bloques de hormigón celular. La normativa INEN 3066

detalla las características mínimas a cumplir para la elaboración de bloques de hormigón, como materiales, dimensiones, aspectos visuales, absorción y resistencia. También detalla los procedimientos para el muestreo y los ensayos, (Instituto Ecuatoriano de Normalización).

La densidad de un material es una propiedad importante en el ámbito constructivo, y esto representa un inconveniente al usar el hormigón convencional, donde la carga muerta lo hace más pesado. Por ejemplo, un prototipo de bloque de hormigón convencional clase D para paredes con o sin revestimiento de tipo normal tendrá una densidad mayor a 2000 kg/m³. Por otro lado, un bloque de hormigón de tipo liviano tendrá una densidad menor a 1680 kg/m³ (INEN, 2014).

En este documento, se investigará sobre el hormigón celular: identificar el peso, la densidad y estudiar su resistencia a la compresión para la elaboración de bloques a medida comercial y que puedan utilizarse a futuro en construcciones de viviendas de interés social de acuerdo con la norma (VALENCIA, 2023)NEC.

Con estos antecedentes, se llega a la formulación del problema general: ¿Cómo se obtiene un bloque de hormigón celular aplicando la normativa INEN?

A partir de esta pregunta, se formulan problemas específicos como ¿Cuáles son las características de los materiales para obtener el hormigón celular al aplicar la normativa?, ¿Cuál sería la cantidad requerida para la obtención de un hormigón celular con densidades $d = 400 \text{ kg/m}^3$?, ¿Cuáles serían las propiedades de este tipo de hormigón?, ¿Cuáles son las diferencias entre el hormigón convencional y el bloque de hormigón celular?, ¿Cuál será el beneficio al elaborar bloques con hormigón celular?

1.2 ANTEDECENTES

En la actualidad, la tendencia de ofrecer productos responsables con el medio ambiente se ha trasladado a la industria de la construcción, por ser uno de los sectores más contaminantes. Esta premisa ha provocado que se abra un espacio para la investigación y desarrollo de nuevos productos. En el caso que aquí compete, los investigadores han publicado numerosos estudios relacionados con las mejoras de las características del hormigón celular, de nuevos usos, nuevos componentes, etc.

El objetivo de este estudio es investigar esa influencia utilizando diferentes tipos de cemento que contengan polvo de aluminio, el tamaño de la partícula esta entre 125, 53.5-44 y 44- 37 μm ., y con 0.25% de aluminio, utilizado como agente espumante RV2020 para producir concreto aireado, los resultados que se obtengan servirán para pruebas de densidad, compresión, tensión, absorción de agua y porosidad que se ensayaran con muestras curadas bajo el agua durante 3 días y secados al ambiente durante los 28 días.

Sin embargo (Shabbar et al., 2016) en Colombia, se ha diseñado una mezcla de concreto celular utilizando agregados reciclados de cantera, con densidad baja para el relleno de infraestructura vial mediante la reutilización de residuos contaminantes de la región; además, los resultados de las resistencias obtenidas de la mezcla no aumentaron de manera considerable, por lo que no genera sobrecostos en caso de requerir una excavación (COBOS, 2021).

(ZAMORA, 2015) propuso diseñar y elaborar un bloque de Concreto Celular que cumpla con los requerimientos físico-mecánicos de la normativa peruana, para su uso como unidad de albañilería no estructural mediante experimentos que lograron la dosificación óptima de diseño; como la dosificación de aditivo espumante Adikrete, asociados en tres grupos, de acuerdo con su densidad 1000 [kg/m³], 1200 [kg/m³] y 1400 [kg/m³].

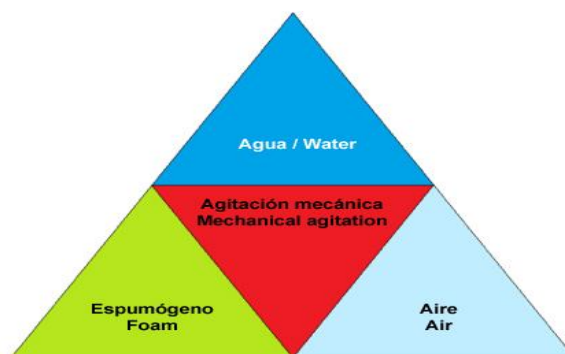
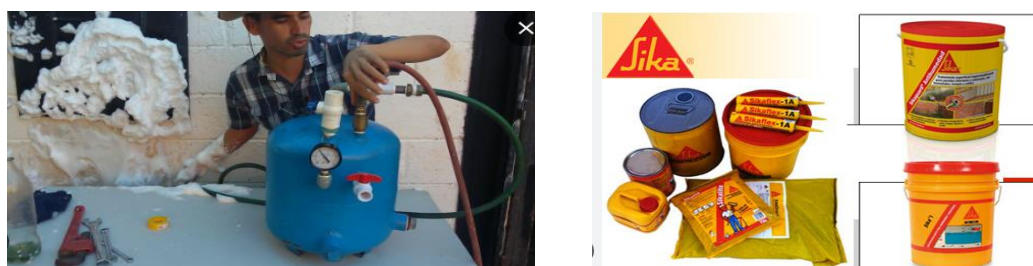


Figura 1. Elementos que componen la elaboracion de espuma

El diseño de mezclas de Concreto Celular se realizó de acuerdo con la "Guía para Concreto Celular con densidades superiores a 800 kg/m³"-ACI 523.3R-14.

Los materiales utilizados fueron cemento Portland Tipo 1 Pacasmayo; aditivo espumante Adikrete; fibra de polipropileno Sikafiber y aditivo plastificante Sikament 290N. Los resultados mostraron que la dosificación óptima que cumplía con los parámetros para la elaboración del bloque de Concreto Celular fue la EAF (espuma-aditivo-fibra) con una densidad aparente de 1400 kg/m³

Figura 2 Agente espumante, diferentes aditivos



Con esta dosificación se elaboraron 60 bloques de Concreto Celular en los cuales se realizaron los ensayos requeridos según la Norma Técnica Peruana. La resistencia a la compresión fue de 71.55 kg/cm², su resistencia a la compresión fue de 53.15 kg/cm² y la resistencia a compresión diagonal de muretes de 60 cm x 60 cm fue de 5.65 kg/cm².

En Ecuador, también se han propuesto estudios del hormigón celular, introduciendo nuevos materiales para la elaboración de bloques. (Leon Guaman Clara; Vallejo Aguayo Erika, 2019) comparan los bloques ordinarios de hormigón y bloques donde se introducen materiales alternativos como el caucho y la coquilla. Los bloques ordinarios se los elaboró con materiales básicos como el polvo de piedra, cascajo, cemento y agua; los segundos tipos de bloques se los elaboró de la misma manera, sin embargo, se sustituyeron porcentajes correspondientes al 10%, 20%, 30% y 40% de materiales alternativos.

Los bloques fueron sometidos a pruebas para ver como resisten a la presión. Los bloques normales se compararon con unos hechos con un 10% y 20% de caucho y 10% y 20% de coquilla cumplen con la resistencia establecida por la norma, sin embargo, el resto de los bloques no cumplieron con la resistencia permisible especificada por la norma INEN 639.

En Guayaquil se evaluó la aplicación de bloques de hormigón celular para la construcción de viviendas unifamiliares mediante una comparativa con materiales convencionales. El diseño de los elementos estructurales se realiza de acuerdo con las normas NEC-2015 y ACI 318-14. Al utilizar bloques de hormigón porosos en las paredes del edificio, la carga de la propia estructura por metro cuadrado se reduce en un 36%. Por otra parte, se observó el impacto durante la fase de producción y construcción; así, el proceso que más contribuye es la producción de Clinker que genera 7998 kg de CO₂-Eq. para una casa típica y 5113 kg de CO₂-Eq. para la casa no tradicional, una diferencia del 36%. Por lo tanto, se demostró que el uso de materiales de menor densidad, por su fácil y rápida aplicación, reduce hasta un 10% el tiempo de ejecución del proyecto y un ahorro del 10% en el costo total, además de su potencial en la construcción sostenible en el país (REYES QUIIJE MELISSA Y ROCHA TAMAYO ALID, 2021).

El diseño de un hormigón celular basado en la norma ACI 523.3R-14 tiene como agregados principales la cerámica cocida y el espumante RV-2020; también analiza las propiedades de los agregados de acuerdo con las normas NTE-INEN y evalúa el hormigón celular en estado fresco y endurecido. Se elaboraron probetas con densidades de 1200kg/m³ y 1440 kg/m³ con arena como muestra patrón y las muestras se elaboraron a partir de cerámica cocida. Los resultados se dan para cilindros sometidos a diversas pruebas como fluidez, tiempo de curado, peso unitario, compresión y flexión. Finalmente, con los datos se pudo verificar si es óptimo realizar la producción del hormigón celular elaborado con cerámica cocida, presentando conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones (Gomez del Pezo Rogelio; Mora Figueroa Jairo, 2022).

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

Elaboración de un bloque de hormigón celular bajo las normas ACI 523.1R-06 que cumplan con una densidad $d = 400 \text{ kgf/m}^3$, y una resistencia a la compresión de 1,5MPa

1.3.2. Hipótesis Específica

H. E1.: diseño del bloque de hormigón celular se obtiene de una mezcla de cemento hidráulico, agua, aditivo y agente espumante de base orgánica que cumpla con la norma.

H. E2.: Las propiedades del hormigón celular tanto mecánicas y físicas; como de resistencia a la compresión cumplen con las normas establecidas por el ACI523.1R-06.

H. E3.: El bloque de hormigón celular tiene un peso ligero y resistencia a la compresión de 28 días en comparación con el bloque convencional.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Elaboración de un bloque sólido machihembrado de hormigón celular con resistencia de 1,5 MPa, a la compresión específica a los 28 días, con densidad $d = 400 \text{ kg/m}^3$ para la producción de bloques con medidas ya establecidas.

1.4.2. Objetivos Específicos

O. E1.: Determinar la dosificación óptima del hormigón celular con densidad $d = 400 \text{ Kg/m}^3$ cuyo patrón será elaborado con cemento, agente espumante, agua y exponer sus propiedades mecánicas tanto en su estado fresco como endurecido mediante ensayos para la obtención de una resistencia a la compresión a los 28 días.

O. E2: Presentar diversos tipos de moldes para bloques machihembrados para así determinar cuál es el más óptimo de acuerdo con sus beneficios.

O. E3.: Analizar el costo al elaborar un bloque de hormigón celular, con densidad $d = 400 \text{ kgf/m}^3$ y resistentes a una compresión de 1,5 MPa.

1.5. ALCANCE

Esta investigación es desarrollada por estudiantes de la carrera de ingeniería civil, enfocada dentro del ámbito del Hormigón como línea de investigación. Para cumplir con el objetivo del estudio, el alcance de la investigación será experimental. Para lograr un hormigón celular con densidad $d = 400 \text{ kgf/m}^3$, se utilizará la dosificación de cemento hidráulico, agua, espumante de base orgánica y meta silicato.

En Ecuador, la normativa para medir la resistencia a compresión del hormigón establece períodos de 7, 21 y 28 días. Para los fines de esta investigación, se ha seleccionado un período de 28 días como la edad específica de evaluación, ya que

en este tiempo el hormigón alcanza aproximadamente el 99% de su endurecimiento y resistencia máxima. Esta elección asegura que los resultados obtenidos reflejen con precisión las propiedades mecánicas del material, permitiendo una evaluación más confiable de su desempeño en aplicaciones constructivas.

El análisis de las propiedades del hormigón celular $d=400 \text{ kgf/m}^3$ se lo realizará con 10 muestras en cilindros vaciados a los 28 días, los mismos que serán sometidos a una carga axial hasta lograr una resistencia a la compresión de 1,5 MPa.

Para el análisis comparativo se tomará como muestras bloques de hormigón convencional “Rocafuerte” y muestras de bloques sólidos machihembrado de hormigón celular con medidas establecidas de $(0,50*0,30*0,10)$ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016). El análisis de costos consistirá en determinar valores de los materiales y equipos, costos indirectos y la mano de obra que se incluirían en el proceso de elaboración de los bloques de hormigón celular, Para saber si es rentable se debe establecer un precio de venta y el margen de rentabilidad

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables Dependientes:

Resistencia a la compresión de 1,5 MPA.

Densidad del Hormigón Celular

1.6.2 Variables Independientes

Cemento Hidráulico Tipo HE

Espumante RV-2020

Aditivo Superplastificante Reductor de Agua

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Definición del hormigón

El hormigón o también conocido como concreto es una mezcla que contiene agregados y con una porción de cemento ya que a través de una reacción química entre el cemento y el agua donde se produce una masa compactada.

Los hormigones livianos son aquellos cuya densidad máxima sea de 1840 kg/m³ (ACI-318), ya que por lo general la densidad del hormigón es de 2400kg/m³.

2.1.1 Hormigón Celular

De acuerdo con la norma ACI 523.1R-06 el hormigón celular cuyas densidades varían entre los 320 a 450 kg/m³ y su resistencia varía de acuerdo con su aplicación.

La obtención del hormigón celular está compuesta por, CEMENTO PORLANT (UCEM- CHIMBORAZO), ESPUMANTE Y AGUA, al mezclar todos los materiales se obtiene un hormigón liviano con células que contienen aire que se producen a través de una mezcla homogénea. El hormigón celular se utiliza en construcciones ligeras o gruesas de acuerdo con la exigencia del diseñador, Según (Cirsoc1 201, 2001) los concretos celulares con elementos de hormigón que contienen agua, cemento y espumante, cuya densidad varía entre 400 a 1840 kg/m³, y resistencia de 70 a 215 kg/cm².

El hormigón celular, al adicionar el espumante que al secar con el cemento forman burbujas de aire no enlazadas entre sí, con lo que se obtiene un hormigón de baja densidad.

Al ser un hormigón liviano reduce el peso de la estructura (Carga muerta (WD) O PESO PROPIO) de la estructura y se utiliza en viviendas, edificios, columnas, vigas, cimentaciones, etc.

2.1.2 Densidad y Resistencia

Al variar la densidad en el hormigón también variamos las propiedades físicas y por ende en sus aplicaciones, la densidad está en función directa de la resistencia $f'c$, a mayor densidad mayor resistencia.

2.2 Hormigón liviano

Se denomina hormigones livianos a las variaciones de densidades y reducción de peso con respecto al hormigón convencional, se considera hormigón o liviano o de baja densidad si es inferior a 1900 kg/m^3 y superior a 1350 kg/m^3 y se aprovecha las pequeñas partículas de aire enlazadas entre sí para aumentar su resistencia.

2.3 Clasificación del hormigón liviano

Se puede desglosar en 2 tipos de hormigón: dependiendo su producción y según su aplicación.

2.3.1 Método de producción

Se utiliza agregados de bajo peso con estados porosos y de baja densidad, en su remplazo de los agregados de peso normal cuya densidad está entre los $2,5 \text{ kg/m}^3$, son utilizados en edificaciones estructurales.

2.3.2 Hormigón celular con espumante.

Hormigón celular con base de espuma (espumógenos)

De acuerdo con el proyecto, se utilizará la técnica de la espuma para variar la densidad y aumentar la resistencia.

2.3.3 Hormigón celular con base de espuma

La formación dentro de la masa del hormigón resulta ser la mezcla de un agente espumante que por mezcla de aire y líquido espumante genera espuma con burbujas de aires, que al endurecerse quedan atrapadas las burbujas generando micro células que no están comunicadas entre sí.

2.3.4 Espumógenos

Se empleó detergentes y jabones resinosos para mejorar la estabilidad y tenacidad de las burbujas hasta verificar que la mezcla de mortero fragüe lo más homogéneamente sin tener compactación, la técnica de utilizar dos productos detergentes, mejoran la estabilidad de la burbuja y el tiempo de fraguado.

En la elaboración de hormigones celulares el mezclado tiene una importancia sobre la calidad del producto, la duración del mezclado influye directamente sobre la densidad y resistencia mecánica cuanto menor sea el mezclado menor será su densidad.

2.4 Métodos para la elaboración de un hormigón liviano o celular

2.4.1 Hormigón celular con inserción de burbuja

La inserción de aire que contiene el hormigón celular reduce su densidad haciéndolo más ligeros que el hormigón tradicional y mantiene una buena resistencia, lo que lo hace rentable en el ámbito estructural (españa, 2024)

- Hormigón celular a base de gas
- Hormigón celular a base de espuma

2.4.2 Hormigón celular a base de gas

(mojica, s.f.) se define como mezcla con estructura menos homogéneos de silicato y granos finos que contienen burbujas de aire no enlazadas entre sí, es un material ligero que puede ser diseñado sin agregados.

2.4.3 Hormigón celular a base de espuma

Mediante válvulas de ingreso de aire más detergente forman una masa de burbujas enlazadas entre si formando pequeñas partículas que al mezclarse con cemento industrial He obtenemos el hormigón liviano o conocido como hormigón celular.

2.5. Aplicaciones

La resistencia del hormigón está relacionada con la densidad y está comprendida entre los 300 y 1800 kg/m³.

Existen diferentes tipos de concreto, se considera concreto pesado con una densidad de 3200 kg/m³ debido a que se utiliza agregado denso, es el concreto normal que se usa en estructuras que poseen una densidad de 2200 kg/m³, y el hormigón ligero que posee densidades de 1800 kg/m³ (CHRYSO).

Hormigón celular entre 300-1800 kg/m³ (RENGIFO MARIA: YUPANGUI RUTH, 2013) A partir de la mezcla básica y al momento del amasado eventualmente puede añadirse otros productos y materiales (aditivos) con el objeto de mejorar las características del producto final.

(Cemex, s.f.) Se define hormigón ligero cuya densidad es baja en condición seca hasta obtener un peso constante inferior a 2000 kg/m³ y superior a 1200 kg/m³ que tiene una proporción de componentes que lo hacen liviano tanto como artificial o natural, ‘y su resistencia oscila entre los 15 a 20 MPA, la densidad seca del hormigón ligero esta entre 300 y 2000 kg/m³ dependiendo la dosificación de su fabricante.

Considerando las densidades se tiene varios tipos de hormigones como el pesado el normal y el ligero.

La propiedad estructural más importante del hormigón es que resiste bien las tensiones de compresión, pero no soporta bien otros tipos de tensiones (tracción, flexión, corte, etc.) (Wikipedia).

Hormigón tiende a soportar los esfuerzos a compresión a lo que está sometido no pasa lo mismo con los esfuerzos de tracción y cortante.

2.6. Ventajas del hormigón celular

Densidad

La baja densidad que posee el hormigón liviano se puede aligerar su peso según su aplicación, en caso de bloques esto permite reducir su peso en las estructuras.

(ROBALINO VILLAGOMEZ, 2016)

Humedad

El hormigón celular tiene una absorción más lenta debido a su estructura porosa que contiene (ROBALINO VILLAGOMEZ, 2016).

Velocidad de construcción

Es muy buena en lo que respecta a su consistencia debido a que no contiene áridos gruesos y el agente espumante proporciona una mayor trabajabilidad; y permite llenar cualquier vacío sin necesidad de la vibración. (ROBALINO VILLAGOMEZ, 2016)

2.7 Desventajas del hormigón celular

- El hormigón liviano es débil a las reacciones químicas debido la porosidad que contiene (Izquierdo Miguel ; Ortega Oscar, 2017).
- El hormigón celular al ser de baja resistencia se limita y esto debe de ser equilibrado con diferentes propiedades.
- La calidad de producción se produce a través de mezclas irregulares con propiedades no relacionadas para la obtención del hormigón.

2.8 Características de los componentes del hormigón

El hormigón es un material pétreo artificial formado por árido de cemento mezclado de agregados, cemento y el agua forman una pasta que rodeó a los agregados formándose un material heterogéneo, en ocasiones se le añade aditivos que mejoran o modifican algunas de sus propiedades (lacuartaconstructor).

Figura 3._Mezclado de agregados



2.8.1Cemento Portland

Cemento hidráulico “industrial” producido con Clinker, silicato de calcio hidráulico cristalizados que contienen agua, sulfato de calcio hasta el 5% de caliza (CEMENTO HIDRAULICO, 2010).

El cemento Portland es un polvo de color grisáceo que se presenta en sacos y que, cuando se mezcla con agua, materiales áridos y con componentes de acero, forma una estructura solida y duradera.

La preparación de la mezcla de las materias primas se realiza en las canteras, de donde se extraen los materiales. Estos materiales se extraen, se muelen y se dosifican en las proporciones que marca el propio fabricante. Los materiales más utilizados para realizar la mezcla base del cemento son óxidos de calcio, silicio, aluminio, hierro y magnesio. (RUBI, 2023)

2.8.1.1 Clasificación de cemento portland

El cemento para obra civil con el tiempo se ha ido innovando con la tecnología para cumplir con normas establecidas que permitan satisfacer los requerimientos de las obras.

Cuando esta se adiciona a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada u otro material granular), actúa como un adhesivo y los une para formar concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo.

Todas las modalidades de hormigones (concreto) a base de cementos portland poseen un alto grado de durabilidad y resistencia, como prueba de esto aparecen las grandes edificaciones, obras públicas y demás construcciones. (CEMEX, 2019)

En la actualidad se fabrican diferentes tipos de cemento portland para aplicaciones específicas. Estos se producen de acuerdo con las especificaciones normativas según el país que corresponda

Como afirma (Ing. ROSaura Vasquez A, 2012) las normas NTE INEN 152/ASTM C150 Y NTE INEN 2380/ASTM C1157 tienen su respectiva clasificación:

Cemento de acuerdo con su uso

- **Tipo GU:** Puede ser utilizado en todo tipo de construcciones siempre y cuando estas no requieren las características y propiedades especiales de otro tipo de cemento es de uso general
- **Tipo HE:** Es un cemento hidráulico de alta resistencia inicial fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana. Es para un hormigón de mayor resistencia
- **Tipo HS:** Este producto tiene igual desempeño en resistencias que el cemento Tipo GU, pero también cumple los requisitos de alta resistencia al ataque de sulfatos (HS).

- **Tipo MS:** De uso estructural es un producto especializado en la solución de necesidades de velocidad de construcción de obras templadamente resistente a los sulfatos
- **Tipo LH:** Se utiliza en obras donde se busca minimizar la generación de calor durante el proceso de hidratación del cemento para bajo calor de hidratación
- **Tipo MH:** Es un cemento de moderado calor de hidratación, para calor moderado de hidratación
- **Opción R:** baja reactividad con agregados
- **Tipo I:** De uso común es utilizado en construcciones generales de concreto, tales como: placas, estructuras, muros, pisos, pavimentos, aceras, elementos prefabricados
- **Tipo II:** Es un cemento cuya formulación hace que presente una resistencia media a los sulfatos, presentes en las aguas subterráneas y suelos. resistencia moderada a los sulfatos y calor de hidratación moderado
- **Tipo III:** Se recomienda usar cuando se quiera adelantar el desencofrado. Al fraguar, produce alto calor, por lo que es aplicable en climas fríos. elevada resistencia inicial
- **Tipo IV:** Está diseñado para proporcionar una baja velocidad de calor de hidratación durante el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto. bajo calor de hidratación
- **Tipo V:** Un cemento de alta resistencia a los sulfatos que se utiliza en concretos expuestos a la acción de sulfatos. alta resistencia a los sulfatos
- **Tipo IA, IIA, IIIA:** Este tipo de cemento, al reaccionar con el agua, hace que el concreto comience a endurecerse y alcance la resistencia son mezcladores de aire

Tabla 1._ Requisitos físicos de tipos de cemento portland

REQUISITOS FISICOS OBLIGATORIOS ÀRA ALGUNOS TIPOS DE CEMENTO PORTLAND							
CONCEPTO	TIPOS DE CEMENTO						
	PUROS		COMPUESTOS		POR DESENPEÑO		
	INEN 152		INEN 490		INEN 2380		
	I - II		IP-I(PM)	- IP(MS)	GU	HE	MS
Contenido de aire en el mortero % maximo	12	12	12	12	*	*	*
Finura (m ² /kg) minimo							
Turbidimetro	160	160	*	*	*	*	*
Permeabilidad del aire	260	260	*	*	*	*	*
Expasion en autocalve % minimo	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contraccion en autoclave % maximo	*	*	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Resistencia a los sulfatos expansion a 180 dias % maximo	*	*	*	0,10	*	*	0,10
Tiempo de fraguado inicial							
Metodo de vicat (minutos)							
No menor a	45	45	45	45	45	45	45
No mayor a	375	375	420	420	420	420	420
Resistencia a la compresion (MPA)							
1 dia minimo	*	*	*	*	*		10
3 dias minimo	12,0	10,0	13,0	11,0	10,0	17,0	10,0
7 dias minimo	19,0	17,0	20,0	18,0	17,0		17,0
28 dias minimo	28	28	25	25	*	*	*

Nota: Tabla tomada del ("INECYC & APRHOPEC, " 2007)

2.9 Agua

El agua es utilizada en la mezcla del hormigón y debe ser limpia, libre de componentes que resultan perjudicial al momento de su preparación, el agua es el que le ayuda alear a los elementos para la obtención del hormigón, también es utilizada para el curado del hormigón al momento que pasa a su estado fresco.

La cantidad de agua que se utiliza para la obtención del hormigón celular depende de la dosificación obtenida por su diseñador, su fraguado ayuda a aliar los componentes y hacer de ella una mezcla sólida y rígida a la vez y así dar paso a que las burbujas se rompan y dejen pequeñas porosidades en el hormigón celular.

Tabla 2._ Analisis del agua de amasado y curado

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

2.10 Aditivos

Los aditivos son componentes químicos que son utilizados en dosificaciones menores al 5% del peso del cemento, a diferencia de los agregados que se le añade para la obtención del hormigón celular o liviano, los aditivos se agregan antes o después de la mezcla del hormigón, con el fin de mejorar propiedades físicas (RIVERA,G.J.C.S, 2006).

La clasificación de los aditivos según la norma ASTM C494 son los siguientes:

- **TIPO A:** Reductores de agua
- **TIPO B:** Retardantes de fraguado
- **TIPO C:** Acelerantes
- **TIPO D:** Reductivo de agua y acelerador
- **TIPO F:** Reductor de agua sobre alto rendimiento
- **TIPO G:** Reductor y retardador de agua altamente efectivo



Figura 4._ Aditivo superplastificante reductor de agua

2.11 Espumante

Para la obtención de la espuma se necesita una composición química basada en ensayos y análisis entre agua y agentes espumantes para tener una estabilidad en la espuma, ayuda atrapar el aire por medio de la espuma sin ninguna reacción química de los materiales a utilizar.

2.11.1 Equipo para generar espuma

Existen viarias formas de obtener espuma

- El dispositivo consta de una bomba neumática (bombonera) de diafragma.
- Compresor de aire que en relación forman la espuma necesaria para la mezcla del hormigón celular.

Figura 5._ Maquina Generadora de espuma



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Generalidades

Este capítulo detalla las propiedades del material utilizado para la producción de muestra sobre el hormigón liviano para su respectivo análisis. La norma ACI. 523.1R-06 indica que un bloque elaborado con cemento HE, espumante RV2020 y agua será analizado con otros diseños de hormigón celular para llegar a su $f'c$ requerido por el diseño, se presentará los ensayos obtenidos por dosificaciones establecidas para la obtención de un hormigón celular liviano y de resistencia ya establecida.

3.2. Caracterización de los materiales

3.2.1 Cemento

La norma ACI 523.1R-06, el cemento utilizado para la elaboración del hormigón liviano o celular debe cumplir con los parámetros establecidos por el ASTM C150M para el cemento portland, ASTM C595/C595M para cementos hidráulico-combinados o ASTM C1157/C1157M para el desempeño del cemento hidráulico.

Para el tema de investigación se trabajó con cemento tipo HE que cumple con las normas ASTM C1157, que se muestra en la figura 6. Fabricado por la empresa Ucem (Unión Cementera Nacional), este cemento es para uso estructural por su alta resistencia en poco tiempo.

El cemento industrial o hidráulico, su tipo de comercialización es en fundas de base de papel, por kilos, por libras lo cual su distribución debe de cumplir con la norma NTE INEN 2380.

Figura 6_ Cemento Chimborazo HE



Nota: Cemento utilizado en la elaboración del hormigón

3.2.2. Agua

El agua es utilizada para la elaboración de la mezcla del hormigón celular y es libre de material orgánico o aceites, sustancias alcalinas apto para su consumo.

3.2.3 Agente espumante

El agente espumante con el hormigón liviano crea dentro de la mezcla pequeñas burbujas de aire capaz de aumentar su estabilidad en la burbuja de aire y así disminuir la tensión en la superficie.

El agente espumante concentrado RV-2020 se diluye en agua en una proporción 1:16 para luego ser colocado en la maquina espumadora y producir por cada litro de espumante 22 litros de espuma. La cual está formada por un detergente, un espesante y un estabilizador de espuma que hace estable a la espuma durante 30 minutos, tiempo en que la mezcla de mortero y espuma puede fraguar en un tiempo resistiendo tanto las fuerzas físicas y químicas que se producen a través de la mezcla cuyos datos se presentan en la tabla 3.

Para la obtención de la espuma en la fabricación de hormigón celular, se pueden emplear diversas técnicas. Una de las más comunes es la generación de espuma mediante presión de aire a través de un compresor. En este proceso, el aire

comprimido se introduce en la mezcla, creando pequeñas burbujas que se distribuyen uniformemente.

La densidad de la espuma puede ser regulada y ajustada según las especificaciones del diseño de la mezcla del hormigón celular. Esto permite obtener propiedades deseadas en el material final, como una mayor ligereza y un mejor aislamiento térmico y acústico. La capacidad de controlar la densidad de la espuma es crucial para garantizar que el hormigón celular cumpla con los requisitos estructurales y funcionales establecidos para su aplicación en la construcción.

CARACTERÍSTICAS

Tabla 3 Datos Técnicos del agente espumante

Apariencia	Líquido viscoso
Color	Café
pH (25°C)	7
Solubilidad	Agua
Densidad	1,20+ 0,03 gr/cm³
Rendimiento	0.8

Figura 7 Agente espumante RV-2020



Nota: Concentrado utilizado para la creación del hormigón celular liviano

3.3. Diseño

El diseño del hormigón celular es guiado por la norma ACI 523.1R-06 para realizar la dosificación del hormigón celular se considera datos establecidos en sus agregados, además se considera como dato principal la densidad del hormigón en estado fresco, para llegar a la resistencia establecida en relación agua-cemento A/C.

El diseño del hormigón celular con espuma con densidad de 400 se elabora con un patrón establecido para 1 m³ de hormigón celular con una densidad de 400 kg/m³ en donde su propiedad a los materiales será utilizada en la siguiente tabla 4

Tabla 4 Datos preliminares de los materiales utilizados

DATOS	VALOR	UNIDAD
Rendimiento de la espuma	0.80	
Densidad de la espuma	50	kg/m ³
Peso específico del cemento	2.92	gr/cm ³
Densidad del agua	1000	kg/m ³

Procedimiento.

Se calcula la fuerza de compresión de acuerdo con la densidad establecida por medio de la siguiente expresión:

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

Donde:

γ_f = peso unitario en estado fresco del hormigón celular

$$f'c = 0,34 * e^{0,0022 * 490} = 1$$

γ_f = peso unitario en estado endurecido del hormigón celular

$$f_c = 0,34 * e^{0,0022*400} = 0,82$$

1. Se usa la relación a/c de 0,6 según los rangos de (0,45 a 0,60) de acuerdo con la norma ACI 523.1R-06

2. Se calcula el cemento en la siguiente expresión

$$c = \frac{490}{1 + 0,6} = 306,25 \text{ kg}$$

3. Cálculo de agua

$$a = 0,5 * c$$

$$a = 0,6 * 306,25 = 183,75 \text{ kg}$$

4. Cálculo de volumen absoluto de la mezcla (cemento agua y espuma)

$$V_a = \frac{c}{G_c * \gamma_w} + \frac{a}{\gamma_w}$$

$$V_a = \frac{306,25}{2,92 * 1000} + \frac{183,75}{1000} = 0,29$$

5. Cálculo de aire requerido por unidad de volumen del hormigón

$$A_v = 1 - V_a$$

$$A_v = 1 - 0,29 = 0,71$$

6. Cálculo de volumen de espuma

$$V_f = \frac{A_v}{\text{rendimiento}}$$

$$V_f = \frac{0,71}{0,8} = 0,89$$

7. Cálculo del peso de la espuma

$$F = V_f * \gamma_e$$

$$F = 0,89 * 50 = 44,46$$

8. Cálculo de agua para el diseño de la mezcla de agua en la espuma

$$A_e = \gamma_e * V_f$$

$$A_e = 50 * 0,89 = 44,46$$

9. Corrección de agua en el diseño de mezcla

$$A_m = a - A_e$$

$$A_m = 183,75 - 44,46 = 139,29$$

Los datos para 1 m³ de hormigón celular se representan en la siguiente tabla 5.

Tabla 5 Diseño para 1m³ de hormigón celular

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	306.25	Kg
Agua	139.29	Lt
espuma	44.46	Lt

3.4. Proceso de la elaboración del hormigón liviano

- Primero se calcula y pesan los materiales que a utilizar de acuerdo con el diseño; cómo por ejemplo el cemento, agua a excepción el agente espumante que se le agrega después de mezclar los materiales antes mencionados.
- Colocar en un tanque el agua requerida, luego agregar el cemento en lo cual debe mezclarse por un aproximado de 10 minutos, aún no se incluye la espuma.
- Durante el mezclado tiene que alcanzar una consistencia uniforme que se obtendrá en unos 20 minutos aproximadamente y durante este proceso debemos de

realizar el agente espumante mediante un compresor y la maquina generadora de espuma.

- Se procede a pesar la cantidad de espuma deseada para de ahí proceder a colocarla en la mezcla y se sigue el proceso de mezclado para que así se obtenga una consistencia uniforme, podemos decir que el tiempo va a depender cuando la mezcla alcance su dosificación requerida.
- Comprobar la densidad del hormigón con ayuda de un recipiente de 1 litro y una balanza en la cual se la llena completamente y proceder a pesarla.
- Una vez ya comprobada la densidad del hormigón, se procede a realizar el ensayo de fluidez de la mezcla y se procederá al vaciado en los moldes.

3.5 Resultados de la dosificación

3.5.1 Densidad de 400 kg/m³

Se elaboró una muestra patrón por lo cual se decidió diseñar la muestra con densidad de 490 kg/m³ en estado fresco, para así llegar a una densidad de 400 kg/m³ en estado endurecido, con relación a/c de 0.6 y 50 kg/m³ de densidad de espuma revisar tabla 6.

Tabla 6, Resultados de la mezcla patrón elaborado de hormigón celular (400 kg/m³)

Materiales	Cantidad	Unidad
cemento	306,25	Kg
agua	139,29	Lt
espuma	44,46	Lt

3.6 Llenado y Curado

Utilizaremos cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, además utilizaremos vigas de 15x15x50 cm. Ver figura 8.

El llenado se realiza por medio de dos capas ya que no necesitará de varillado, eso se lo utiliza siempre y cuando halla agregado grueso puesto que la mezcla no contiene y además eso provocará que las burbujas se rompan; por cada capa se realiza de 10 a 15 golpes con lo que es el martillo de hule o goma y en el caso de las vigas también se realiza el mismo procedimiento, pero ahí varía la cantidad de golpes a 30.

Luego de desencofrar las muestras serán sumergidas en una piscina para su respectivo curado durante 3 días (72 HR) luego son retiradas para su respectivo secado hasta el momento de su rotura que se realizarán en 7, 21 y 28 días, para los cilindros se realizan ensayo a compresión y en el caso de las vigas se realiza ensayo a flexión de acuerdo con las normas

Figura 8._ Llenado de cilindros



3.7 Ensayos del hormigón celular

3.7.1. Contenido de aire ASTM C231

En la presente investigación aplicamos la norma ASTM C231 método de, contenido de aire y rendimiento en material de baja resistencia controlada, determinaremos la cantidad de aire atrapado en una mezcla elaborada.

Equipos por utilizar

- Mezcla de mortero
- Maso de hule.
- Jeringa de 50mm
- Recipiente para colocar el agua
- Cucharón
- Varilla de enrase
- Varilla con una longitud de 600mm y diámetro de 16mm ± 2

Figura 9 Tiempo del graduado del hormigón



Procedimiento

- Humedecemos el interior del recipiente.
- Volvemos a remezclar la masa antes de colocar el hormigón dentro del recipiente.

- Procedemos a llenar el recipiente con la mezcla en tres capas. La primera capa corresponde al primer tercio del volumen del recipiente y debe de ser distribuida de forma equitativa en toda la superficie.
- Se procede a varillar la primera capa 25 veces en todo su espesor de forma distribuida en toda su sección transversal teniendo en cuenta q no se debe golpear con fuerza por el recipiente.
- Golpeamos de forma inmediata con el mazo de goma el exterior del recipiente de 10 a 15 veces para que cierre los huecos dejados por la varilla de compactación.
- Para el llenado y varillado de la segunda y tercera capa se repite los pasos, pero siempre tomando en cuenta que al momento de varillar debe penetrar hasta la capa inferior 25mm de su espesor y que al momento de llenar la última capa se debe dejar aproximadamente un exceso de 3mm de mezcla.
- Enrasamos el exceso de mezcla desde el centro del recipiente hasta los extremos y luego limpiar el borde del recipiente.
- Humedecemos la tapa y el caucho que la rodea y colocamos de tal manera que quede centrada en el recipiente evitando movimientos muy bruscos.
- Cerrar las grapas en cruz y la válvula de purga de aire y luego empezamos a agregar agua dentro de las llaves de purga de agua mediante el uso de la jeringa con el propósito de llenar la cavidad que queda sobre el Hormigón y debajo de la tapa, cuando este ya esté lleno empezará a salir agua por la otra llave y si sale agua con señales de burbuja quiere decir que aún hay aire atrapado en el interior y es necesario dar unos golpecitos en los costados del recipiente.

- Empezamos a bombear aire dentro de la cámara lo que se reflejará en el manómetro del dispositivo con el objetivo de encerar el aparato. Para estabilizar la aguja es necesario dar ciertos golpes con el dedo en el manómetro.
- Una vez encerado se cierra las válvulas de purga de agua creando el sello hermético total. Inmediatamente se inyecta aire mediante la válvula principal seguido de un golpe seco y se procede a dar lectura del contenido de aire.

Resultados

Los resultados se presentan en el capítulo IV



Figura 10 Contenido de aire en la mezcla de Hormigón celular

3.7.2 Mesa de Flujo (Norma NTC 111)

Este ensayo se lo utiliza para determinar lo que respecta a la consistencia de la mezcla para el hormigón celular que expresa mediante el incremento de los diámetros de moldes, después de unas series específicas de movimientos.

Equipos para utilizar:

- Mesa de flujo que cumpla con los parámetros de la Norma ASTM C230.
- Molde de flujo con medidas de 69.8mm de diámetro en la parte superior, 101,6 mm de diámetro en lo inferior y 50.8mm de altura.
- Pistón pequeño
- Espátula

Procedimiento:

- Limpiamos la superficie de la máquina.
- Colocamos el molde de la mesa de flujo en lo que es el centro de la plataforma.
- Se coloca una capa de mezcla en el molde unos 25mm de espesor y se procede a pisar 20 veces con el compactador.
- Procedemos a llenar el molde con la mezcla y se vuelve a pisar como en la primera capa.
- Enrasamos la superficie de la mezcla con la espátula.
- Quitamos el molde que contiene la mezcla y secamos la plataforma para remover el agua.

- Se deja caer la mezcla por medio de la mesa a una altura de 13mm, y 25 golpes durante 15 segundos.
- Por último, determinamos la fluidez de la mezcla calculando un promedio de los diferentes diámetros a lo largo de las líneas señaladas en la plataforma.

Cálculos. _

$$\%F = \frac{DI - A}{A}$$

Donde:

%F= Porcentaje de fluidez de la mezcla.

DI =Diámetro promedio de las cuatro mediciones en mm.

A= Diámetro real de la base del molde mm.

Resultados

Se observarán en el capítulo IV

Figura 11 Fluidez de la mezcla de hormigon celular



3.7.3 Ensayo de Fraguado del hormigón (Aguja de Vicat) con la Norma NTE INEN 158

Para determinar el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón celular mediante la norma NTE INEN 158 mediante el aparato de aguja de vicat de forma manual.

En este ensayo se debe realizar penetraciones periódicas utilizando la aguja de Vicat de 1mm de diámetro. el tiempo del fraguado con el que se inicia entre el contacto del cemento con el agua y el momento exacto cuando la aguja de vicat llega a una inserto de 25mm el tiempo de fraguado final se refiere al tiempo que transcurre desde que el cemento entra en contacto con el agua hasta su total fraguado que la aguja de vicat no deja ninguna impresión circular en la superficie de la mezcla (JEAN ERREYES VACA , 2014).

Equipos por utilizar

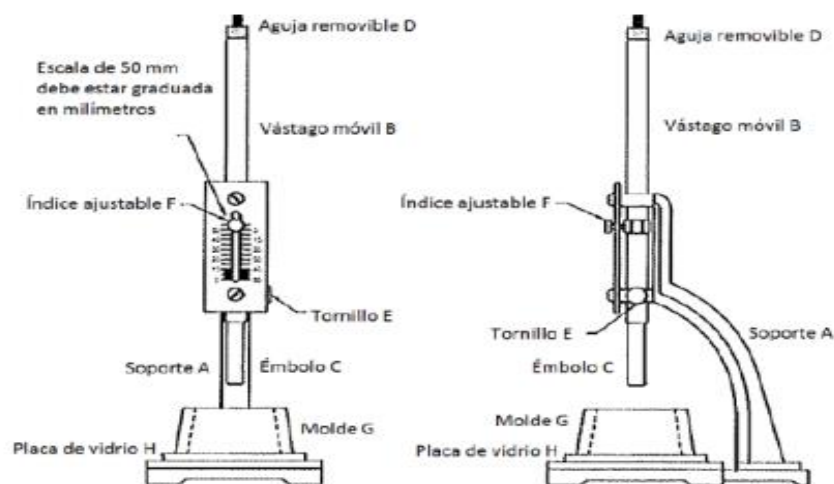
- Aparato de Vicat
- Balanza con buena presión
- Aguja recta con diámetro de 1mm y una longitud no menor a 50mm
- Placa de vidrio
- Espátula plana, que debe tener una hoja de acero con el borde recto
- Anillo cónico que cumpla con normas ya establecidas.

Procedimiento

- Preparar mezcla y sumergirla en el anillo cónico de tal manera que ocupe todo el espacio del molde.
- Retiramos el exceso de la muestra con la palma de la mano.

- Colocamos la base de la muestra sobre una placa no absorbente.
- Enrasamos la superficie del molde con ayuda de la espátula plana.
- Dejamos que el espécimen repose en un ambiente fresco durante 30min después del modelo sin ser perturbado.
- Se coloca la muestra en el aparato de vicat y dejamos caer la aguja desde la superficie de la muestra y procedemos a tomar la lectura 30 segundos después de dejar caer la aguja.
- Tomamos lectura cada 15 minutos hasta que obtengamos la inducción de 25mm.

Figura 12._ Aparato de Vicat (manual)



Nota: Imagen referencial del aparato de Vicat, de la norma NTE INEN 158



Resultados

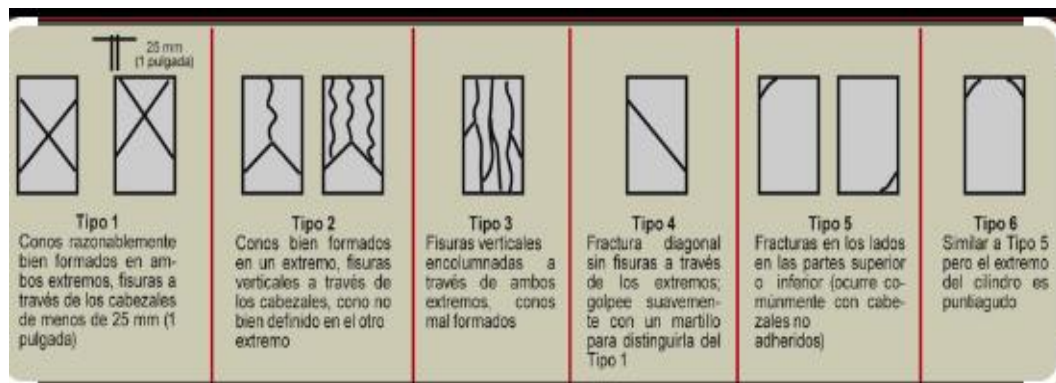
Los resultados se muestran en el capítulo IV

3.7.4 Ensayo de la Resistencia a la Compresión

En este ensayo determinaremos la resistencia a la compresión de los cilindros de hormigón celular manteniendo las dimensiones en una relación de diámetro igual a uno y altura dos veces el diámetro, donde se utilizaron probetas de 10x20 cm

Luego se procede a aplicarle una carga axial continua a una velocidad de 0,24 MPa/s, los cilindros deben estar centrados en la máquina de ensayo a compresión hasta que se complete su ruptura, se utilizan neoprenos para que obtengamos una lectura exacta, en la cual se realizaran a los 7,21 y 28 días de esta investigación.

Figura 13 Modelos de fracturas



Equipos por utilizar

- Máquina de compresión hidráulica
- Neopreno de las dimensiones del cilindro
- Balanza con una aproximación y exactitud de 0,1g y 0.1%
- Vernier con una presión de 0,1mm

Procedimiento

- Retiramos los cilindros de la zona de curado dependiendo el día de su rotura.
- Colocamos en una balanza para registrar su peso
- Ubicamos los neoprenos en la parte superior e inferior del cilindro.
- Procedemos a ubicar el cilindro en el centro de la maquina hidráulica para realizar el ensayo.

Cálculos

$$C = \frac{P}{A}$$

C= Resistencia a la compresión

P=Carga máxima (toma de la lectura del ensayo)

A=Promedio del área del cilindro ensayado

Resultados

Los resultados se presentan en el capítulo IV

Figura 14 Ensayo de Resistencia a la compresion



Nota: imágenes del ensayo resistencia a la compresión

3.7.5 Ensayo de peso específico y Absorción Norma ASTM C642

El siguiente ensayo no ayuda a determinar la densidad y porcentaje de absorción del hormigón endurecido.

Equipos por utilizar

- Recipiente adecuado para sumergir la muestra y alambre para la suspensión de la muestra
- Balanza sensible al 0.025 de la masa de a muestra
- Tanque o balde en el que colocaremos el recipiente que contiene la muestra mientras se encuentre suspendida.
- Horno con capacidad de mantener a temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Procedimiento

- Determinamos una muestra de la masa y procedemos a secar en un horno a una temperatura de 100 a 110°C por mínimo de 24hr.

- Sacamos la muestra en agua a 21^aC durante un periodo no menor de 48hr luego se retira la muestra del agua y con ayuda de una toalla se remueve el agua de la superficie dejándolo en condición de saturada superficialmente seca.
- Suspendemos la muestra dentro del tanque con agua por medio del recipiente y un alambre, después determinamos la masa en estado sumergido.

Cálculos

$$\text{Peso específico (gr/cm}^3\text{)} = \frac{Wd \times \rho}{Ws - Wi}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100$$

Donde

Wd= Peso de la muestra seco al horno, gr

Ws=Peso de la muestra en condición de saturada superficialmente seca, gr

Wi= Peso de la muestra suspendida en agua, gr

ρ =Densidad del agua, g/cm³

Resultados

Los resultados se presentan en el capítulo IV

Figura 15 Peso específico y absorcion del hormigón



3.7.6 Ensayo de determinación a flexión

El siguiente ensayo nos ayuda a determinar la resistencia a la tracción por flexión del hormigón celular por medio de la elaboración de vigas en la cual sus dimensiones son de 15x15x50 cm aplicándole una carga en los tercios con una separación de los apoyos de 45cm de la viga, la rotura se la realiza a los 28 días en la edad del hormigón. La velocidad de la rotura es de 0.70 MPa. el resultado de este ensayo s un estimado entre el 10% al 20% de la resistencia a la compresión. Los resultados de ensayo se los aprecia en los anexos

Cálculos

$$MR = \frac{3PL}{bd^2}$$

Donde

MR= Resistencia a la tracción por flexión, Kg/cm²

P= Carga de la prensa hidráulica, Kg

L= Distancia entre apoyo, cm

b= Ancho de la unidad, cm

d= Altura de la unidad, cm

Resultados

Los resultados se expresan en el capítulo IV

3.8 Moldes de bloques con diferente tipo de machihembrado

3.8.1 Ventajas Sobre los bloques

- **Rápido montaje:** Su reducida densidad y ligereza facilitan la rapidez en la instalación de bloques. (BECOSAN, 2021)
- **Resistencia a la compresión:** Esto variara dependiendo de la densidad del material, está claro que cuanto mayor es la densidad mayor es la resistencia.
- **Resistente a la absorción del agua:** Absorbe el agua mucho más lenta, se lo considera como regulador de humedad que absorbe el exceso de humedad (BECOSAN, 2021).
- **Económico:** Pesa entre un 10% y un 87% menos al convencional. Esta importante reducción de peso se refiere a importantes ahorros en costo.

- **Versatilidad:** Debido a la sencillez en su elaboración, se puede elaborar o fabricar de diferentes formas (BECOSAN, 2021).

Es aconsejable en:

- **Climas fríos.** _ Ya que presentan bajas temperaturas.
- **Climas cálidos.** _ También evita que entre calor.
- **Climas templados:** Ya sean invierno como verano

3.8.2 Presentación de diversos tipos de moldes

Basado a todas sus ventajas presentamos los siguientes 3 tipos de moldes

1. Bloque machihembrado tipo lego en su parte superior: Podemos indicar que por sus machihembrados no fue de fácil desencofrado.

Figura 16 Machihembrado en la parte sup e inf



2. Bloque solido tipo machihembrado en sus laterales: En este modelo de bloque como se presentó con ángulo recto lo cual al momento de desencofrar se deformato y tuvo rotura en su machihembrado.

Figura 17 Bloque machihembrado en sus laterales



3. Bloque sólido tipo machihembrado en sus 4 laterales: En dicho bloque se presentó en su diseño con un ángulo de 35° para así obtener un fácil desencofrado por sus perfiles.

Figura 18 Bloque en sus 4 laterales machihembrados



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Análisis de Permanencia del Hormigón

Las dosificaciones del hormigón fueron elaboradas con diferentes densidades que están desde los 490 kg/m³ en estado fresco y 400 kg/m³ en estado endurecido que sería la dosificación de diseño.

Tabla 7 Resultados de Permanencia del hormigón celular

Densidad Aparente Kg/m ³	Tipo de Cemento	A/C	D. Espuma Kg/m ³	Asentamiento
460	He	0.5	50.58	28
479	He	0.6	50.00	28
490	He	0.6	50.00	29.2
490	He	0.6	50.00	29.5

Nota: la tabla nos muestra la permanencia de la mezcla para obtener el hormigón celular elaborado con espuma, cemento y agua.

Figura 19 Permanencia del Hormigón



Con los datos obtenidos graficados en la tabla se puede deducir que la permanencia del hormigón celular elaborado a través de una dosificación varía en sus densidades desde 460 a 490 kg/m³ por diseño, se reduce desde 29,5 cm a 28 cm por lectura entre los días de secado como resultado de permanencia, lo cual su densidad de espuma implica mucho su uso para obtener una medida estándar de diseño de acuerdo con su dosificación.

4.2. Contenido de Aire

Se determina el contenido de aire atrapado en el hormigón celular fresco expresado en porcentajes.

Según la norma ASTM C231, para la determinación del contenido de aire mediante el método de presión se realiza una muestra con concreto recién elaborado para llenar por completo el recipiente, se establece la presión por medio de diferencia de nivel de agua con el aparato b se realiza por medio de una bomba de aire un dial medidor de presión

Datos de la muestra

Cemento 5,40 kg

Agua 1,74 lt

Espuma 0,96 lt

Se procede a humedecer el recipiente antes de colocar el hormigón dentro, dentro de la mezcla por 3 capas de llenado la mezcla debe ser distribuida de forma homogénea en toda la superficie lo cual varillamos las capas 25 veces sin golpear el fondo, una vez llenado el recipiente se golpea con un mazo de goma de 10 a 15 veces para que bote el contenido de aire causado por el varillado.

Una vez cerrado el recipiente se cierran las válvulas de agua creando un sello hermético, entonces inyectamos aire y se da un golpe seco y se procede a dar lectura de contenido de aire la cual se muestra en la tabla 8.

Tabla 8 Resultados de la mezcla a través del contenido de Aire con una densidad de 400Kg/m³

	Densidad	Resultados
Ensayo 1	460	44%
Ensayo 2	479	42%
Ensayo 3	490	45%
Ensayo 4	490	43%

4.3. Análisis de la mesa de flujo

Se determina la fluidez del hormigón celular fabricado con cemento, agua y espuma según la norma NTE INEN 158, densidades de 320 a 450 kg/m³ sus resultados se presentan en la tabla que se obtiene a través de las muestras que se desarrollan con densidades de 460-490 kg/m³ las cuales llegaron a un % de fluidez de 92% lo que indica que el concentrado de la espuma elaborado con RV-2020 permiten que el hormigón celular tenga una mayor fluidez lo cual facilita su fundición, entonces decimos que a mayor densidad mayor fluidez . Tabla 9

Tabla 9 Resultados de Fluidez de la mezcla del Hormigón Celular

Densidad	Tipo de Cemento	%Fluidez
460	He	80.98
479	He	90.03
490	He	90.50
490	He	92.00

4.4. Análisis del tiempo de fraguado del hormigón Aguja de Vicat

El tiempo de fraguado de la mezcla del hormigón celular elaborado con cemento He, agua y espuma cuyas densidades aparentes son de 460 kg/m³ y 490 kg/m³, sus resultados se muestran en la tabla 10.

Para el cálculo del tiempo de fraguado inicial en diferentes mezclas se toma una pequeña cantidad de mezcla durante el proceso de fundición del hormigón celular y mediante el aparato de la aguja de vicat, por medio de penetraciones tomadas en diferentes tiempos se logra determinar el ensayo, En la tabla se evidencia que las fundiciones de densidad de 460 y 490m kg/m³ alcanzan un tiempo de fraguado de 0 inicial a 900 minutos final.

Tabla 10 Resultados del tiempo de Fraguado del hormigón celular

LECTURA DE GOLPES APLICADO EN EL ENSAYO			
NORMA INEN 158			
DETERMINACION DE TIEMPO DE FRAGUADO			
HORA DEL INICIO DEL ENSAYO	LECTURA	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)
8:30	8:30	0	25
	9:00	30	25
	9:30	60	25
	10:00	90	25
	10:30	120	25
	11:00	150	25
	11:30	180	25
	12:00	210	25
	12:30	240	25
	13:00	270	25
	3:00	900	8

4.5. Análisis de absorción y peso específico

Los resultados de los ensayos de absorción y peso específico de las muestras de hormigón celular de densidad de 460 a 490 kg/m³ se presentan en la tabla, el porcentaje de absorción y de peso específico como establece la norma ASTM C-642 es notorio que a menor densidad mayor será el porcentaje de absorción en

cambio el peso específico cambia de acuerdo con el paso de los días a través de su fraguado.

Tabla 11 Resultados de Absorción y Peso Específico del Hormigón Celular

Densidad de Fundido	Componente	Absorción %	Peso Específico
460	He	20.15	480.15
479	He	28.35	507.35
400	He	25.86	515.86
400	He	26.65	516.65

4.6. Análisis de la resistencia a la compresión

Los resultados de los ensayos a la compresión elaborado con cemento agua y espuma cuyas densidades son de 460 – 490 kg/m³ por diseño se muestran resistencias promedio de días de rotura de 7, 21, 28 días en la figura se observa las curvas de resistencia – tiempo.

Tabla 12 Resultados a la resistencia a la compresión de la muestra con cemento, agua y espuma de densidad de 460 Kg/m³

COMPRESION DE CILINDRO				
ENSAYO 1				
Dia	Peso(w) kg	Cmax (kn)	E _{max} (Mpa)	f' c (Mpa)
7	2,61	11,4	0,64	0,42
21	2,33	12,4	0,7	0,67
28	2,15	13,2	0,75	0,74

Figura 20 Curva reistencia a la compresión de las muestras con espuma de densidad D=460 Kg/m³



Tabla 13 Resultados a la resistencia a la compresion de la muestra con cemento, agua y espuma de densidad de $D=479\text{Kg/m}^3$

COMPRESION DE CILINDRO				
ENSAYO 2 (METACILICATO)				
Dia	Peso(w)kg	Cmax (kn)	E _{max} (Mpa)	f' c (Mpa)
7	2,78	11,0	0,62	0,403
21	2,67	13,9	0,78	0,741
28	2,43	14,9	0,84	0,8316

Figura 21 Curva de resistencia a la compresión de la muestra con densidad $D= 479\text{ Kg/cm}^3$

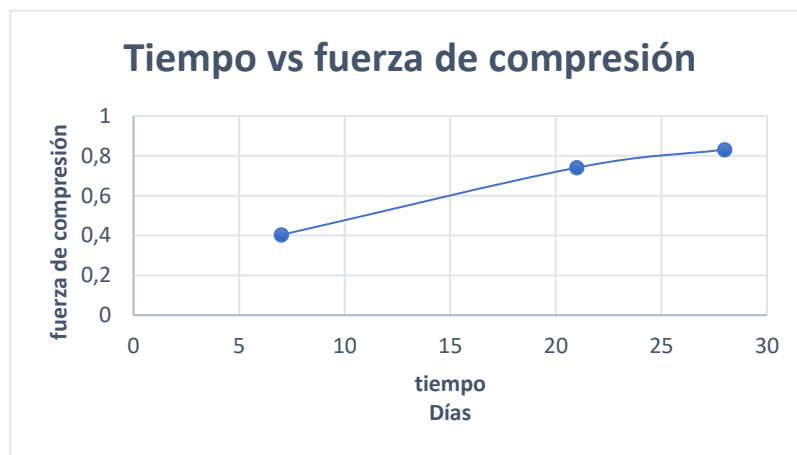


Tabla 14 Resultados a la resistencia a la compresión de la muestra con cemento, agua y espuma de densidad de $D= 490\text{Kg/m}^3$

COMPRESION DE CILINDRO				
ENSAYO 3				
Dia	Peso (w) kg	Cmax (kn)	E _{max} (Mpa)	f' c (Mpa)
7	2,78	13,4	0,76	0,49
21	2,46	14,1	0,80	0,76
28	2,32	15,2	0,86	0,85

Figura 22 Curva de Resistencia a la compresión de la muestra con densidad $D= 490\text{Kg/cm}^3$

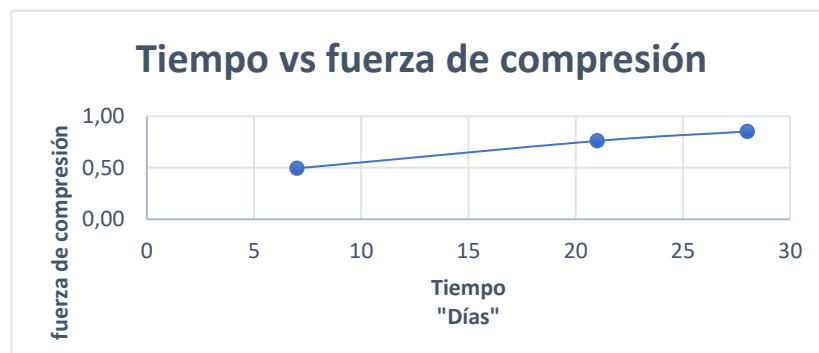


Tabla 15 Resultados a la Resistencia a la compresión de la muestra con Cemento, agua y espuma de densidad de $D= 490\text{Kg/m}^3$

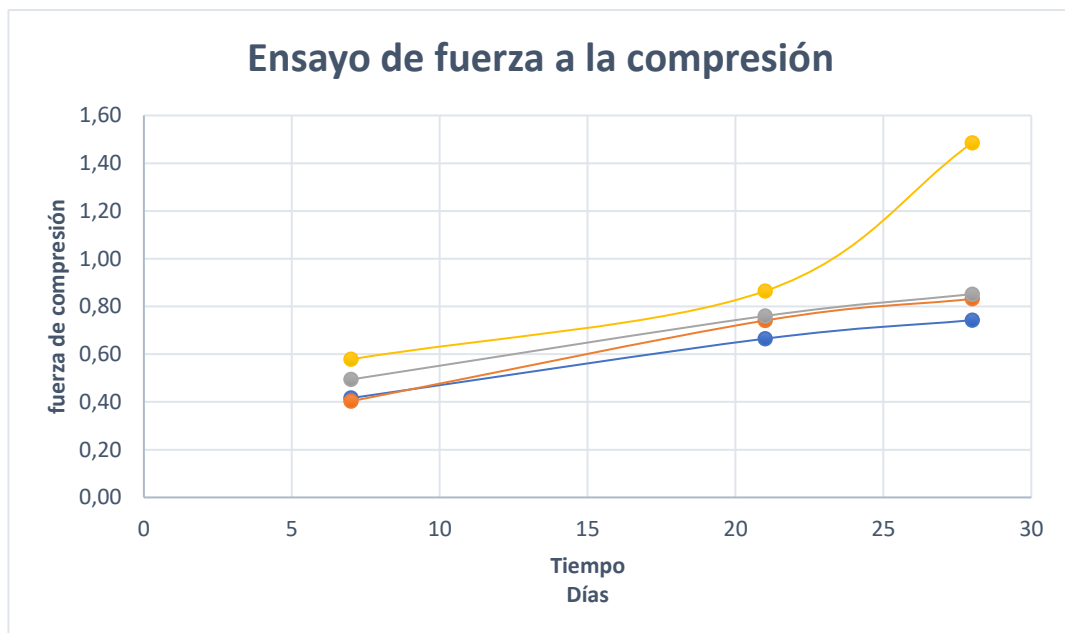
COMPRESION DE CILINDRO				
ENSAYO 4 (METACILICATO)				
Dia	Peso (w) kg	Cmax (kn)	E _{max} (Mpa)	f' c (Mpa)
7	3,01	15,7	0,89	0,5785
21	2,43	16,1	0,91	0,8645
28	2,21	26,53	1,5	1,485

Figura 23 Curva de Resistencia a la compresión de la muestra con densidad $D= 490\text{Kg/cm}^3$



En la siguiente imagen nos indica la fuerza a la compresion alcanzada mediante un diseño a través de una dosificación en sus 28 días de secado al ambiente por ser un hormigón celular teniendo un alcance de 99% de resistencia.

Figura 24 Curva comparativa de Resistencia a la compresion de la elaboracion del hormigón celular



Los resultados obtenidos a través de los ensayos de laboratorio determinamos la fuerza a la compresión propuesta en el diseño del hormigón celular lo cual alcanzamos en la cuarta dosificación con un baño de matasilicato al 75% con una relación de 15 kilos de matasilicato en 10 litros de agua la resistencia propuesta de 1,5 MPA lo cual se refleja en la imagen

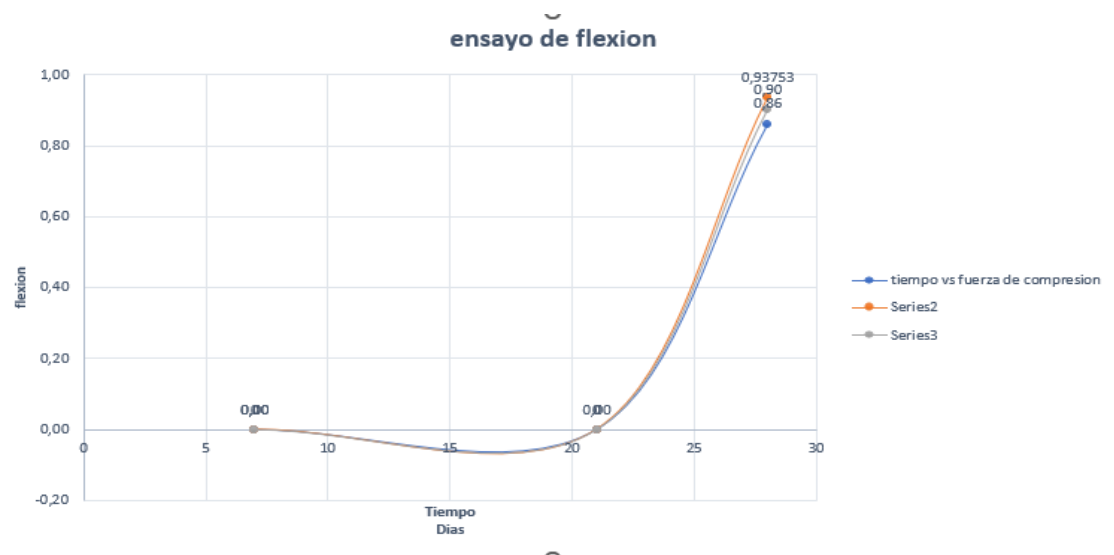
4.7. Análisis de la resistencia a flexión

Resultados a la resistencia a flexión de las muestras fabricadas con espuma para elaborar un hormigón celular de densidad 400 kg/m³

Tabla 16 Tiempo vs Esfuerzo de flexión

ENSAYO										
DETERMINACION A FLEXION										
largo	altura	PESO (w) kg	DIAS		Cmax (kn)	E _{max} (Mpa)	f _c (mMpa)	fuerza	area	resistencia a la flexion
0,5	0,3	6,7	0	28	4,35	0,87	0,8613	0,18	0,15	1,2
0,5	0,3	6,6	0	28	4,75	0,947	0,93753	0,36	0,15	2,4
0,5	0,3	6,8	0	28	4,6	0,921	0,91179	0,26	0,15	1,7

Figura 25 Determinación de Flexión



En el ensayo a flexión determinamos su módulo de elasticidad, su carga máxima aplicada para poder determinar la fuerza que es aplicada por una carga a través del área del sólido para alcanzar la resistencia de diseño y calcular el esfuerzo máximo

4.8 Análisis del precio unitario del hormigón celular

Se analiza el costo por cada metro cúbico donde se detalla el valor en producción del hormigón celular donde el valor del cemento es mayor al resto de productos para su elaboración.

Tabla 17 Resultados del Analisis de Precio unitario para 1 m3 del hormigón celular

ITEMS	DENSIDAD	PRECIO
Hc Elab con RV2020	460	\$112.94
Hc Elab con RV2020+Superplastificante	479	\$115.57
Hc Elab con RV2020 +Metasilicato	490	\$111.52
Hc Elab con RV2020+Metasilicato	490	\$113.78

A través del costo de elaboración del hormigón celular determinamos que por cada dosificación los valores cambian debido a la demanda de materiales para su elaboración dado el tema de investigación tenemos que el bloque machihembrado de hormigón celular con una densidad establecida en estado fresco de 490 kg/m³ que al momento de fraguar a sus 28 días su densidad llega a 400 kg/m³, con una mejora en su agente espumante por tener mayor estabilidad al momento de su fundición tenemos como resultado un alcance de resistencia $f'c$ de 1,5 MPA por un bañado de meta silicato (resistencia a la compresión)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ♣ Se pudo elaborar bloques de hormigón celular machihembrado de 50x30x10 cm con resistencia a la compresión alrededor de 1.5 MPa con densidad seca $d=420 \text{ Kg/m}^3$ y de 19 horas de fraguado INEN 158.
- ♣ Para poder obtener la mezcla optima se realizaron 4 dosificaciones de diferente densidad humedad: 460 kg/m^3 , 479 kg/m^3 , 490 kg/m^3 y 490 kg/m^3 con un bañado de metasilicato de calcio. El diseño de mezcla fue elaborado con la normativa ACI 523.1R-06. en donde utilizamos 306.25 Kg de cemento, 139.29 Lt de agua y 44.46 Lt de espuma para lo que respecta a un metro cubico presentando una densidad en estado fresco de 490 kg/m^3 , en la cual se llega a obtener una densidad de 420 kg/m^3 en estado endurecido; y así se concluye con una resistencia a la compresión de 1.50 MPa a los 28 días.
- ♣ El cemento que hemos utilizado fue de tipo HE para la elaboración del hormigón celular, se puede decir que cumple con la norma ASTM C1157, fabricado por la empresa UCEM, dicho cemento es muy utilizado para el hormigón ya que alcanza su resistencia a una edad temprana; el agua es proveniente de la empresa Aguapen ya que ésta cumple con los estándares de poseer una alta calidad como se muestra en la tabla 2 del análisis del amasado y curado con la normativa NTE INEN 1108; en el caso del espumante RV-2020 evaluamos la concentración de acuerdo a las normas ASTM C 796 y ASTM C 869 (método de prueba estándar para espumantes) en la cual sí cumple con sus parámetros formando así una espuma cuya consistencia es estable con un PH neutro y su densidad de 50 kg/m^3 .
- ♣ Con el ensayo de la mesa de flujo nos indica que la muestra tiene un aspecto muy fluido por lo que al momento de aplicarle los 25 golpes se esparce 23 cm lo cual ocupa casi todo el diámetro de la mesa de flujo, entonces deducimos que el porcentaje de la fluidez es un 92%.

- ♣ Al realizar el ensayo de la aguja de vicat podemos determinar el tiempo del fraguado de la mezcla del hormigón celular que fue elaborado con cemento, agua y espumante teniendo como resultado un tiempo de 900min(19hr) comenzando a las 8:30 am.
- ♣ Referente a los moldes se escogió el de mejor adaptación que es un machihembrado en sus 4 laterales teniendo un destacado desencofrado
- ♣ El precio unitario por m³ con lo que respecta al hormigón celular elaborado es de \$ 113.78. para una densidad de 400kg/m³.
- ♣ Podemos deducir que el bloque de hormigón celular es rentable por su precio pero el bloque convencional trae un solo diseño de fabrica en si ya tiene un precio establecido en cambio el hormigón celular tenemos otra medidas establecidas por diseño ya que en valor cambia de acuerdo a su medida, el bloque convencional trae una resistencia de diseño sin necesidad de aditivos que aumenten su resistencia podemos decir que el bloque de hormigón celular es rentable por su precio y uso pero implica más gasto para aumentar su resistencia en cambio el convencional trae su medida establecida

5.2 Recomendaciones

- ♣ En el proceso que estamos realizando la espuma se debe tener en cuenta la presión que ejerce el compresor hacia la máquina generadora de espuma ya que esta oscila entre los 100 PSI y esto puede que varíe la densidad de la espuma.
- ♣ Al momento de que mezclamos los materiales debemos de hacerlo simultáneamente la fabricación de la espuma para así evitar la pérdida de rendimiento al contacto de las burbujas con el medio ambiente.
- ♣ La norma ACI 523.1R-06 nos indica que la densidad en estado fresco puede reducirse entre un 70 a 160 kg/m³

BIBLIOGRAFÍA

- (INEN), I. E. (Diciembre de 2014). *HORMIGON*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- Arcos, C. (Diciembre de 1976). *Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado*. (IDIEM) Obtenido de Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2709-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3462-2-10-20140903.pdf
- BECOSAN, C. (4 de JUNIO de 2021). *HORMIGON CELULAR* . Obtenido de <https://www.becosan.com/es/hormigon-celular/>
- CEMENTO HIDRAULICO. (24 de agosto de 2010). *Cemento Hidraulico, definicion de terminos*. Obtenido de https://conred.gob.gt/normas/NRD3/1_cemento/NTG_41095_ASTM_C1157_Cementos_hidraulicos_Especificaciones_por_desempe%C3%B1o.pdf
- CEMEX. (19 de junio de 2019). *Hablando de Cementos Portland* . Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- Cemex. (s.f.). *Composicion Hormigon Ligero*. Obtenido de Composicion Hormigon Ligero: <https://www.cemex.es/hormigon/ligero/composicion>
- CHRYSO. (s.f.). *Hormigon Ligero Estructural, Caracteristicas y Usos* . Obtenido de Hormigon Ligero Estructural, Caracteristicas y Usos : <https://www.chryso.es/news/463/hormigon+ligero+estructural#:~:text=El%20hormig%C3%B3n%20ligero%20estructural%20est%C3%A1,a%20un%2035%25%20m%C3%A1s%20ligero.>
- cirsoc1 201. (2001). <https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2019/07/18-CIRSOC-201-Reglamento.pdf>. Obtenido de hormigon elaborado: <https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2019/07/18-CIRSOC-201-Reglamento.pdf>
- COBOS, N. G. (2021). *Diseño de mezcla de un concreto celular de baja densidad*.
- CONCRETE, B. (21 de Abril de 2021). *Cemento Portland*. (BECOSAN) Obtenido de <https://www.becosan.com/es/cemento-portland/>
- CONCRETE, B. (2021). *HORMIGON CELULAR* . MALAGA : B42722959.
- EL COMERCIO, D. (s.f.). *EL DEFICIT DE VIVIENDAS*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/deficit-viviendas-guayas-manabi-los-rios.html>

españa, h. (2024). <https://www.holcim.es>. Obtenido de <https://www.holcim.es>:
<https://www.holcim.es/hormigon-celular-ligereza-y-resistencia-transformando-la-construccion>

Focil,A, E. (febrero de 2006). *Caracterización del Concreto Celular Elaborado con Espuma Performada*. Recuperado el Mayo de 2025, de aracterización del Concreto Celular Elaborado con Espuma Performada:
<http://hdl.handle.net/11285/567300>

fsicas, f. d. (2018). *tesis%20mate*. Obtenido de
<file:///C:/Users/edins/OneDrive/Escritorio/tesis%20mate.pdf>

Gomez del Pezo Rogelio; Mora Figueroa Jairo. (04 de Abril de 2022). *Diseño de hormigon celular en base a espumante RV-2020 y ceramica cocida* . Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6942>

HORA, L. (ENE-2022). La Construccion de viviendas no subre ni la mitad de la demanda anual de las nuevas familias.

INEN, N. (2014). *BLOQUES HUECOS DE HORMIGON: DEFINICIONES, CLASIFICACION Y CONDICIONES GENERALES*. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/291863521/Nte-Inen-638>

Ing. ROsaura Vasquez A. (2012). *Cemento y sus Aplicaciones*. Obtenido de
<https://www.calameo.com/books/00635025435b1af10eaa8>

Izquierdo Miguel ; Ortega Oscar. (17 de oct de 2017). Obtenido de
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622468>

JEAN ERREYES VACA . (2014). *TIEMPO INICIAL Y TIEMPO FINAL DE FRAGUADO* . Obtenido de <https://es.scribd.com/document/253246431/Tiempo-Inicial-Y-Final-de-Fraguado..>

Jose, P. (2013). *ANTECEDENTES DEL HORMIGON CELULAR*. Obtenido de
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12822/Capitulo2.pdf>

lacuartaconstructor. (s.f.). *-aditivos-pueden-mejorar-las-propiedades-y-la-trabajabilidad-del-hormigon.html*. Obtenido de *-aditivos-pueden-mejorar-las-propiedades-y-la-trabajabilidad-del-hormigon.html*:
<https://constructor.lacuarta.com/noticias/tema-central/los-aditivos-pueden-mejorar-las-propiedades-y-la-trabajabilidad-del-hormigon.html>

Leon Guaman Clara; Vallejo Aguayo Erika. (febrero de 2019). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre bloques ordinarios y bloques con la introducción de materiales alternativos: caucho y coquilla de palma africana utilizando la norma INEN 639*. Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16959>

mojica, s. (s.f.). <https://document/436040932/Aireado-Con-Gas>. Obtenido de <https://document/436040932/Aireado-Con-Gas>:
<https://document/436040932/Aireado-Con-Gas>

NACIONAL, C. (2021-2025). *FOMENTAR MODELOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE APLICANDO MEDIDAS DE ADAPTACION Y MITIGACION AL CAMBIO CLIMATICO*. Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>

RENGIFO MARIA: YUPANGUI RUTH. (OCT de 2013). *ESTUDIO DEL HORMIGON CELULAR*. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CD-5165%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CD-5165%20(1).pdf)

REYES QUIIJE MELISSA Y ROCHA TAMAYO ALID. (2021). *HORMIGON CELULAR, ANALISIS CICLO DE VIDA*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52211>

RIVERA,G.J.C.S. (2006). *ADITIVOS PARA MORTERO Y CONCRETO* . Obtenido de https://www.academia.edu/7622232/Aditivos_para_morteros_o_concretos

ROBALINO VILLAGOMEZ. (SEP de 2016). *IMPLEMENTACION DEL MORTERO CELULAR EN EL ECUADOR* . Obtenido de <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/478>

RUBI. (04 de AGOSTO de 2023). *Cemento Portlando: Que es y Cuales son sus ventajas* . Obtenido de <https://www.rubi.com/es/blog/cemento-portland-que-es/>

VALENCIA, E. D. (2023). *ESTRUCTURAS DE HORMIGON*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>



Veliz Aguayo, A. (ENE/JUN de 2023). *EL HORMIGON CELULAR:ANALISIS Y DIFUSION A NIVEL INSUDSTRUjIAL EN EL ECUADOR*. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-76972023000100053

Wikipedia. (s.f.). *Hormigon: Caracteristicas Mecanicas* . Obtenido de Hormigon: Caracteristicas Mecanicas : <file:///C:/Users/edins/OneDrive/Escritorio/tesis%20mate.pdf>

ZAMORA, L. T. (2015). *Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicacion como unidad de albañileria no estructural* . Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/643>

ANEXOS

ANEXO 1 Peso unitario y contenido de aire del hormigón celular (400Kg/m³)

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA																			
																					
TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m ³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c 1.5 (MPa)																					
TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMI SPINO ARGOTE																					
TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA																					
ENSAYO CONTENIDO DE AIRE																					
<table border="1"><thead><tr><th colspan="3">DOSIFICACION</th></tr></thead><tbody><tr><td>CEMENTO</td><td>5,4</td><td>kg</td></tr><tr><td>AGUA</td><td>1,74</td><td>lt</td></tr><tr><td>ESPUMA</td><td>0,96</td><td>lt</td></tr></tbody></table>				DOSIFICACION			CEMENTO	5,4	kg	AGUA	1,74	lt	ESPUMA	0,96	lt						
DOSIFICACION																					
CEMENTO	5,4	kg																			
AGUA	1,74	lt																			
ESPUMA	0,96	lt																			
<table border="1"><thead><tr><th colspan="3">ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE</th></tr><tr><th></th><th>DENSIDAD</th><th>RESULTADOS</th></tr></thead><tbody><tr><td>ENSAYO # 1</td><td>460</td><td>44%</td></tr><tr><td>ENSAYO # 2</td><td>479</td><td>42%</td></tr><tr><td>ENSAYO # 3</td><td>490</td><td>45%</td></tr><tr><td>ENSAYO # 4</td><td>490</td><td>43%</td></tr></tbody></table>				ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE				DENSIDAD	RESULTADOS	ENSAYO # 1	460	44%	ENSAYO # 2	479	42%	ENSAYO # 3	490	45%	ENSAYO # 4	490	43%
ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE																					
	DENSIDAD	RESULTADOS																			
ENSAYO # 1	460	44%																			
ENSAYO # 2	479	42%																			
ENSAYO # 3	490	45%																			
ENSAYO # 4	490	43%																			
ELABORADO POR		REVISADO																			
EDINSON GONZALEZ		ING. RICHARD RAMIREZ																			
DENISSE QUIMIS																					

MESA DE FLUJO

ANEXO 2 Determinación del porcentaje de fluidez del hormigón celular



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA



TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c 1.5 (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

ENSAYO MESA DE FLUJO

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA		
CARRERA INGENIERIA CIVIL		
ENSAYO DE LA MESA DE FLUJO		
ENSAYO		
DENSIDAD	COMPONENTE	% FLUIDEZ
490	He	92%
490	He	92%
490	He	92%
490	He	92%



ELABORADO POR	REVISADO
EDINSON GONZALEZ	ING. RICHARD RAMIREZ
DENISSE QUIMIS	

FRAGUADO DEL HORMIGÓN

ANEXO 3 Tiempo de fraguado del hormigón celular



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



TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c 1.5$ (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

ENSAYO AGUJA DE VICAT

LECTURA DE GOLPES APLICADO EN EL ENSAYO			
NORMA INEN 158			
DETERMINACION DE TIEMPO DE FRAGUADO			
HORA DEL INICIO DEL ENSAYO	LECTURA	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)
8:30	8:30	0	25
	9:00	30	25
	9:30	60	25
	10:00	90	25
	10:30	120	25
	11:00	150	25
	11:30	180	25
	12:00	210	25
	12:30	240	25
	13:00	270	25
3:00	900	8	



ELABORADO POR

EDINSON GONZALEZ



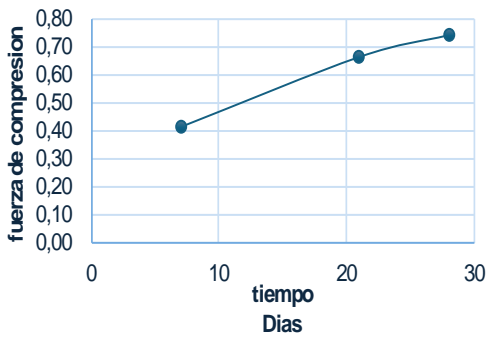
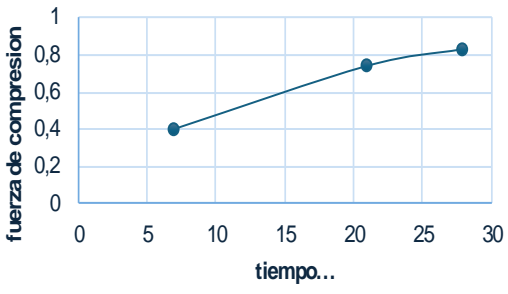
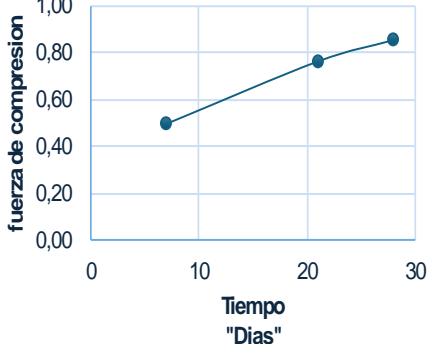
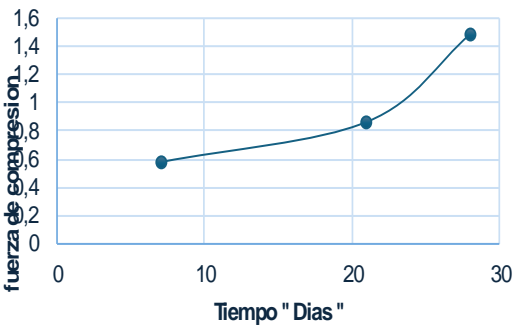
DENISSE QUIMIS

REVISADO

ING. RICHARD RAMIREZ

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ANEXO 4 Resultados de Resistencia a la compresión del hormigón celular (400Kg/m³)

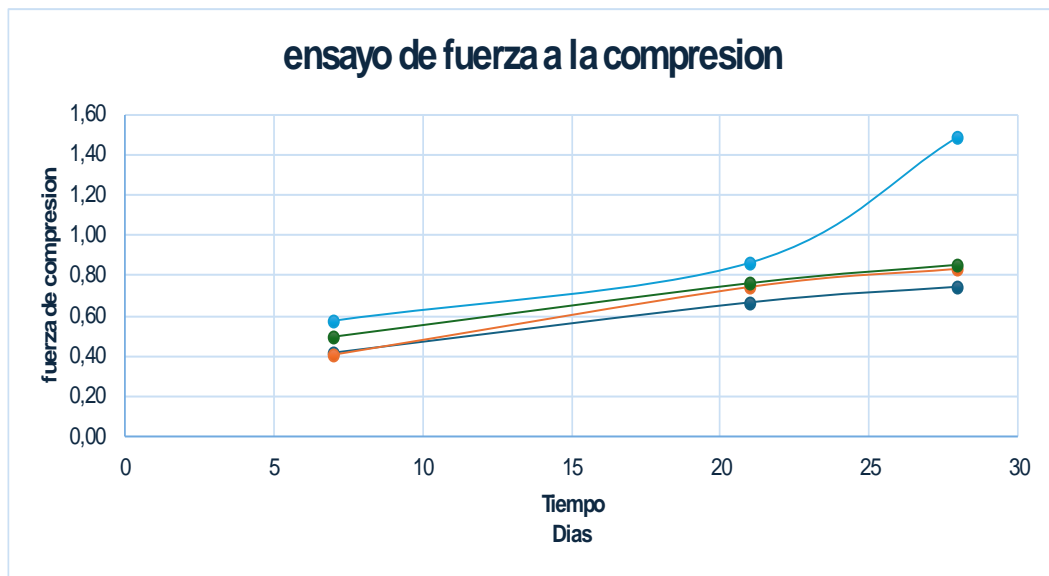
		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA							
TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m ³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f' c 1.5 (MPa)									
TESIS T AS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE									
TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA									
ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION									
COMPRESION DE CILINDRO				COMPRESION DE CILINDRO					
ENSAYO 1				ENSAYO 2 (METACILICATO)					
Dia	Peso(w) kg	Cmax (kn)	Emax (Mpa)	f' c (Mpa)	Dia	Peso(w)kg	Cmax (kn)	Emax (Mpa)	f' c (Mpa)
7	2,61	11,4	0,64	0,42	7	2,78	11,0	0,62	0,403
21	2,33	12,4	0,7	0,67	21	2,67	13,9	0,78	0,741
28	2,15	13,2	0,75	0,74	28	2,43	14,9	0,84	0,8316
									
COMPRESION DE CILINDRO				COMPRESION DE CILINDRO					
ENSAYO 3				ENSAYO 4 (METACILICATO)					
Dia	Peso(w) kg	Cmax (kn)	Emax (Mpa)	f' c (Mpa)	Dia	Peso(w) kg	Cmax (kn)	Emax (Mpa)	f' c (Mpa)
7	2,78	13,4	0,76	0,49	7	3,01	15,7	0,89	0,5785
21	2,46	14,1	0,80	0,76	21	2,43	16,1	0,91	0,8645
28	2,32	15,2	0,86	0,85	28	2,21	26,53	1,5	1,485
									
ELABORADO POR				REVISADO					
EDINSON GONZALEZ				ING. RICHARD RAMIREZ					
DENISSE QUIMIS									

TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION f_c 1.5 (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION

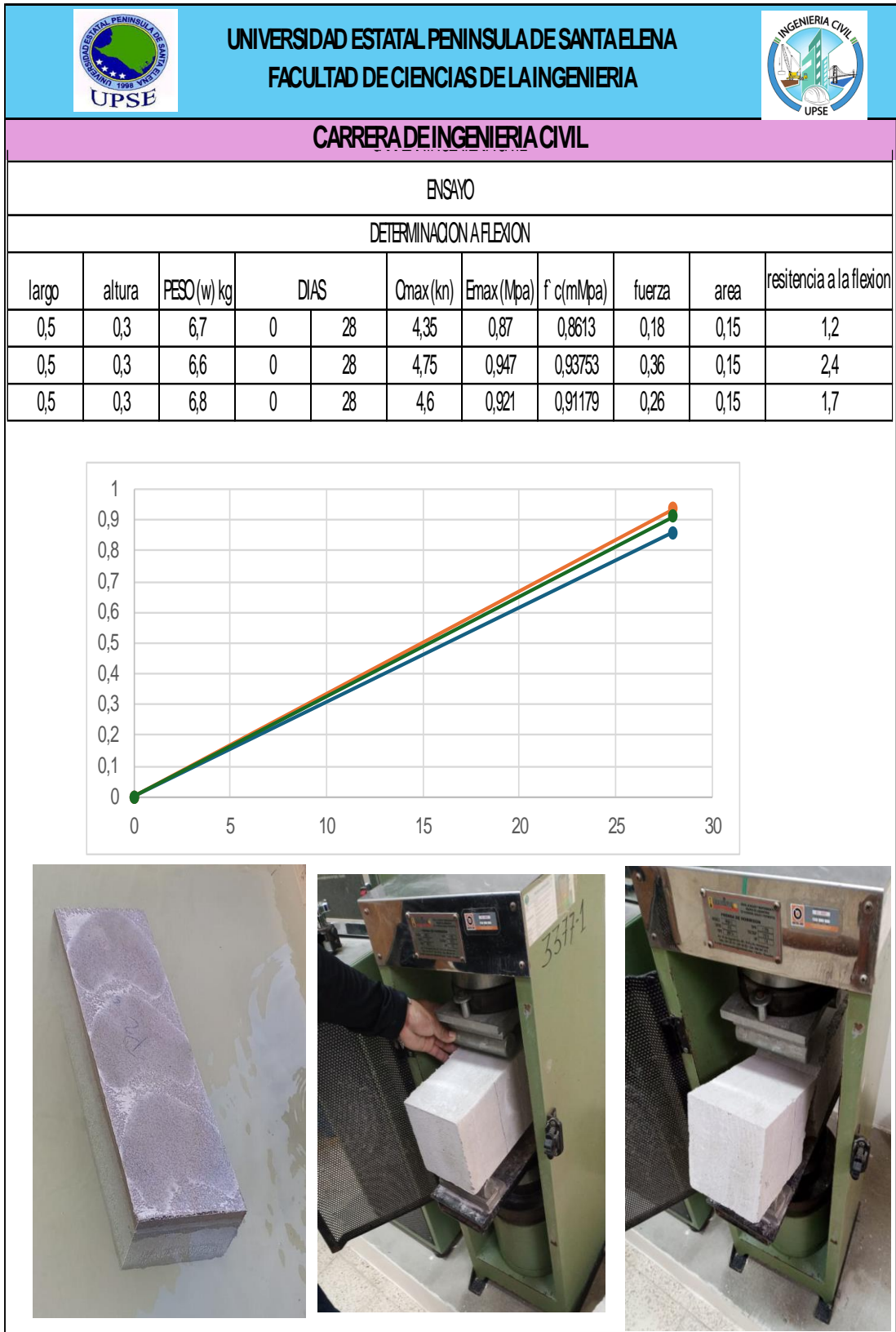


ELABORADO POR
EDINSON GONZALEZ
DENISSE QUIMIS

REVISADO
ING. RICHARD RAMIREZ

RESISTENCIA A FLEXIÓN

ANEXO 5 Resultados de Resistencia a flexión del hormigón celular (400Kg/m³)



LOS PRECIOS UNITARIOS

ANEXO 6 Análisis de precio unitario con 4 maestros de obra

UNIVERSIDAD ESTADL PENINSULA DE SANTA ELENA					
CARRERA INGENIERIA CIVIL					
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO PARA 1m3 DE HORMIGON CELULAR					
RUBRO 1					
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO POR HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5%MO)					0,28
Maquina generadora de espuma	1	2,800	2,80	0,65	1,82
Taladro manual	1	1,300	1,30	0,22	0,286
				subtotal	2,386
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
CATEGORIAS	A	B	C	R	D
Maestro de obra	4	4,826	19,304	0,4	7,7216
albañil	1	4,06	4,06	0,03	0,1218
peon	1	1,83	1,83	0,15	0,2745
				SUBTOTAL	8,1179
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNT	COSTO	
CEMENTO He saco de 50kg	Sacos	5,83	9,7	56,55	
agua	m3	2,65	1,08	2,86	
espuma	Lt	0,85	0,005	0,00	
SUBTOTAL				59,41725	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
				0	
			TOTAL DE COSTO DIRECT	69,92115	
			INDIRECTO Y UTILIDADES 25%	17,4802875	
			OTROS	0	
			COSTO TOTAL DE RUBRO	87,4014375	
			VALOR OFERTADO	87,40	

ANEXO 8 Análisis de precio unitario con 3 maestros de obra, 3 albañiles y 3 peones

UNIVERSIDAD ESTAD. PENINSULA DE SANTA ELENA					
CARRERA INGENIERIA CIVIL					
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO PARA 1m ³ DE HORMIGON CELULAR					
RUBRO 1					
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSOTO POR HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5%MO)					0,28
Maquina generadora de espuma	1	2,800	2,80	0,65	1,82
Taladro manual	1	1,300	1,30	0,22	0,286
				subtotal	2,386
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
CATEGORIAS	A	B	C	R	D
Maestro de obra	3	4,826	14,478	0,4	5,7912
albañil	3	4,06	12,18	0,03	0,3654
peon	3	1,83	5,49	0,15	0,8235
				SUBTOTAL	6,9801
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNT	COSTO	
CEMENTO He saco de 50kg	Sacos	5,83	9,7	56,551	
agua	m ³	2,65	1,08	2,862	
espuma	Lt	0,85	0,005	0,00425	
			SUBTOTAL	59,41725	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
				0	
			TOTAL DE COSTO DIRECT	68,78335	
			INDIRECTO Y UTILIDADES 25%	17,1958375	
			OTROS	0	
			COSTO TOTAL DE RUBRO	85,9791875	
			VALOR OFERTADO	85,98	

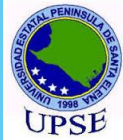
ANEXO 9 Análisis de precio unitario con 4 maestros de obra, 2 albañiles y 3 peones

UNIVERSIDAD ESTADL PENINSULA DE SANTA ELENA					
CARRERA IN GENIERA CIVIL					
ANALISI DE PRECIO UNITARIO PARA 1m3 DE HORMIGON CELULAR					
RUBRO 1					
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSOTO POR HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5%MO)					0,28
Maquina generadora de espuma	1	2,800	2,80	0,65	1,82
Taladro manual	1	1,300	1,30	0,22	0,286
subtotal					2,386
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
CATEGORIAS	A	B	C	R	D
Maestro de obra	4	4,826	19,304	0,4	7,7216
albañil	2	4,06	8,12	0,03	0,2436
peon	3	1,83	5,49	0,15	0,8235
SUBTOTAL					8,7887
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNT	COSTO	
CEMENTO He saco de 50kg	Sacos	5,83	9,7	56,551	
agua	lt	2,65	1,08	2,862	
espuma	kg	0,85	0,005	0,00425	
SUBTOTAL				59,41725	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
				0	
			TOTAL DE COSTO DIRECT	70,59195	
			INDIRECTO Y UTILIDADES 25%	17,6479875	
			OTROS	0	
			COSTO TOTAL DE RUBRO	88,2399375	
			VALOR OFERTADO	88,24	

ANEXO 10 Análisis comparativo de precio unitario de bloque celular

UNIVERSIDAD ESTADL PENINSULA DE SANTA ELENA					
CARRERA IN GENIERA CIVIL					
BLOQUE DE HORMIGON CELULAR					
RUBRO 1					
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO POR HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor (5% MO)					0,28
Maquina generadora	1	2,800	2,80	0,65	1,82
Taladro manual	1	1,300	1,30	0,22	0,286
				subtotal	2,386
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
CATEGORIAS	A	B	C	R	D
Maestro de obra	4	4,826	19,304	0,4	7,7216
albañil	1	4,06	4,06	0,03	0,1218
peon	1	1,83	1,83	0,15	0,2745
				SUBTOTAL	8,1179
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNT	COSTO	
CEMENTO He sac	Sacos	5,83	9,7	56,551	
agua	m3	2,65	0,45	1,1925	
espuma	Lt	0,85	0,005	0,00425	
			SUBTOTAL	57,74775	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
				0	
			TOTAL DE COSTO DIRECT	68,25165	
			INDIRECTO Y UTILIDADES 25%	17,0629125	
			OTROS	0	
			COSTO TOTAL DE RUBRO	85,3145625	
			VALOR OFERTADO	85,31	
			VALOR UNITARIO C/U		
	MATERIALES	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
	ESPUMA	0,015	0,055	\$ 0,00	
	CEMENTO	0,036	9,7	\$ 0,35	
	AGUA	0,001	0,45	\$ 0,00	
	TOTAL PARCIAL			\$ 0,35	

ANEXO 12 FABRICACIÓN DE ESPUMA



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA



TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 Kgf/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f_c 1.5 (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINO ARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

FABRICACION DE LA ESPUMA



ELABORADO POR	REVISADO
EDINSON GONZALEZ	ING. RICHARD RAMIREZ
DENISSE QUIMIS	

ANEXO 13 MEZCLA DE HORMIGÓN SEGÚN LA NORMA ACI 523.1R-06



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



TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGÓN CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f_c 1.5 (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMI SPINO ARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

MEZCLA DEL HORMIGÓN CELULAR SEGÚN LA NORMA ACI 523.1R-06



ELABORADO POR	REVISADO
EDINSON GONZALEZ	ING. RICHARD RAMIREZ
DENISSE QUIMIS	

ANEXO 14 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN



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



TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION $f'c$ 1.5 (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMI SPINO ARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION



ELABORADO POR
EDINSON GONZALEZ
DENISSE QUIMIS

REVISADO
ING. RICHARD RAMIREZ

ANEXO 15 PRESENTACIÓN DE MOLDES



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



TESIS: DISEÑO DE UN BLOQUE MACHIMBRADO DE HORMIGON CELULAR DE DENSIDAD 400 Kg/m³ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION $f_c 1.5$ (MPa)

TESISTAS: EDINSON ALONSO GONZALEZ CRUZ Y DENISSE JACQUELINE QUIMIS PINOARGOTE

TUTOR: ING. RICHARD RAMIREZ PALMA

PRESENTACION DE MOLDES



ELABORADO POR	REVISADO
EDINSON GONZALEZ	ING. RICHARD RAMIREZ
DENISSE QUIMIS	