

Facultad de Tecnología de la Construcción

“ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE CONCRETO CELULAR, UTILIZANDO JABÓN LÍQUIDO COMO AGENTE ESPUMANTE”.

Protocolo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Ashly Nicole
Calero Romero
Carnet: 2018-0715U

Br. Carlos Daniel
López Herrera
Carnet: 2018-0713U

Tutor:

MSc. Ing. Silvia Lindo
O'connors

17 de febrero de 2023
Managua, Nicaragua

Índice

I. Introducción	1
II. Antecedentes.....	3
III. Justificación	5
IV. Objetivos.....	6
4.1. Objetivo general	6
4.2. Objetivos específicos	6
V. Marco teórico	7
5.1. Conceptos Generales.....	7
5.1.1. Mortero convencional	7
5.1.2. Concreto liviano	7
5.1.3. Concreto celular con aditivo espumante.....	7
5.2. Propiedades físico-mecánicas de las materias primas en el concreto celular y mortero convencional.	8
5.2.1. Cemento	8
5.2.2. Agregado fino	9
5.2.3. Agua	12
5.2.4. Aditivo espumante	12
5.3. Diseño de concreto celular a partir de un aditivo espumante óptimo	14
5.3.1. Métodos de obtención del concreto celular	14
5.3.2. Espuma Preformada.....	15
5.3.3. Jabón lavaplatos líquido	15
5.3.4. Caracterización del aditivo espumante	15
5.3.5. Dosificación	16
5.4. Propiedades físicas y mecánicas presentes en el concreto celular y mortero convencional.....	17

5.4.1.	Resistencia a la compresión	17
5.4.2.	Peso volumétrico	18
5.4.3.	Densidad	18
5.4.4.	Grado de fluidez	18
5.4.5.	Temperatura de la mezcla	18
5.5.	Ventajas de la utilización de concreto celular.....	19
5.5.1.	Reducción de la carga muerta.....	19
5.5.2.	Aislamiento térmico	19
5.5.3.	Aislamiento acústico	20
5.5.4.	Material ignífugo	20
5.5.5.	Manejabilidad.....	20
VI.	Hipótesis	22
6.1.	Hipótesis de investigación.....	22
VII.	Diseño metodológico	23
7.1.	Tipo de investigación.....	23
7.1.1.	Según el enfoque de investigación	23
7.1.2.	Según el alcance de resultados.....	23
7.1.3.	Según el tiempo de ocurrencia	24
7.2.	Propiedades físico-mecánicas de las materias primas en el concreto celular y mortero convencional	25
7.2.1.	Cemento	25
7.2.2.	Agregado fino	26
7.2.3.	Agua	27
7.2.4.	Espuma preformada	27

7.3. Metodología para la obtención de la mezcla de concreto celular, partiendo de la dosificación óptima del aditivo espumante, sin comprometer la resistencia a la compresión diseñada	29
7.4. Metodología para las propiedades físicas y mecánicas presentes en el concreto celular y convencional	31
7.5. Metodología para el análisis de costo de elaboración de ambas mezclas	34
7.5.1. Costos Unitarios	34
7.5.2. Costos Directos	34
VIII.Cronograma de actividades	36
IX. Referencias bibliográficas	37

Índice de figuras

<i>Figura 1 Tipos de cemento</i>	8
<i>Figura 2 Parámetros que afectan la resistencia a la compresión</i>	17
<i>Figura 3 Detalle de la estructura interna que posee un bloque celular</i>	19
<i>Figura 4 Metodología para la obtención de la dosificación óptima del aditivo espumante</i>	30
<i>Figura 5 Cronograma de trabajo monográfico</i>	36

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Propiedades físico-mecánicas del cemento</i>	25
<i>Tabla 2 Propiedades físico-mecánicas del agregado fino</i>	26
<i>Tabla 3 Propiedades físico-mecánicas de la espuma preformada</i>	28
<i>Tabla 4 Propiedades físico-mecánicas de la mezcla en estado fresco</i>	31
<i>Tabla 5 Propiedades físico-mecánicas de la mezcla en estado endurecido</i>	32
<i>Tabla 6 Costo de materiales para el concreto celular</i>	34
<i>Tabla 7 Costo de materiales para el mortero tradicional</i>	35

I. Introducción

Solamente detrás del agua, el concreto u hormigón es el material más consumido por el ser humano y, esto ha traído consigo muchos avances en las estructuras actuales, ahora, es mucho más fácil tener una vivienda segura gracias a las propiedades que brinda el concreto, no obstante, hay algo en lo que todavía el concreto no da fiabilidad y se resume a su carga muerta.

De igual forma el ser humano ha interactuado con la madera como otro sistema constructivo, ya que es un material proporcionado por la misma naturaleza. Posee virtudes de ligereza, manejabilidad y aislación térmica con respecto al concreto convencional, sin embargo, flaquea en propiedades hidrófugas, capacidad portante y humedad (Una de sus grandes debilidades).

Es de mucha importancia encontrar un punto medio donde se brinden las mejores características del concreto convencional combinado con las mejores características de la madera en un elemento constructivo. Ante esa necesidad el concreto celular logra un gran impacto.

Ampliamente conocido en zonas como Europa Occidental o Norteamérica, el concreto celular tiene acaparado una buena parte de esos mercados. En naciones resilientes es considerado como relevante el comportamiento que este material puede alcanzar ante movimientos sísmicos gracias a su liviandad. Una vez el concreto celular es curado, logra capacidades termoacústicas, reteniendo la temperatura interna sin tener afectación por la intemperie e insonorizando el interior del exterior gracias a sus celdas de aire internas. Como otra característica de este material es su manejabilidad, ya que al ser bajo en densidad, puede cortarse con solo el uso de un serrucho sin dejar residuos de material en el proyecto a realizar.

El concreto celular tiene al aditivo espumante como elemento clave en su composición, atribuyéndole cápsulas de aire en su interior que le permite un menor peso volumétrico. Para el trabajo actual se considerará el uso de jabón líquido, componente altamente espumante en presencia de un solvente como el agua, dicho aditivo crea células de aire resistentes ante el movimiento del mezclado y a su

misma vez ocasiona la formación de espacios vacíos en su interior cuando éste ya logra su secado.

Las pruebas a realizar en el concreto celular consistirán en dos fases; la primera fase consistirá cuando la mezcla esté en estado fresco ya que se obtendrán propiedades brindadas por la mezcla en este proceso y, la segunda fase que consiste en la evaluación de la mezcla en estado seco, es decir el elemento de ensaye luego de los 28 días de curado.

II. Antecedentes

El concreto ligero no es utilizado como un nuevo material en la industria de la construcción, los antiguos romanos, en el año 27 a.C fueron los precursores del término “concreto liviano”, cuando construyeron la Cúpula del Panteón de 44m de diámetro, en donde se utilizó como agregado piedra pómez.

J.A. Eriksson, arquitecto de origen sueco, patentó el “hormigón celular curado en autoclave en el año 1924”. Inicialmente su uso no tuvo un gran impacto en la construcción debido a las dificultades de su fabricación, pero el avance tecnológico ha permitido la creación de espumas cada vez más estables que garantizan densidades y resistencias aceptables, permitiendo que este material sea utilizado en países como España, Alemania, Holanda y Estados Unidos. En este último se han desarrollado diversos proyectos tales como la ampliación del estadio City Fields en Queens (New York), la remodelación del Coney Island Train Station en Brooklyn (New York) y el Consol Energy Center en Pittsburgh (Pennsylvania).

A finales del siglo XIX el uso del concreto liviano aparece cuando utilizaron de agregado las escorias de hulla en Estados Unidos e Inglaterra, y a mediados de la década de los 30, en Inglaterra se utilizó la escoria espumosa de los altos hornos para fabricación de bloques de muro no cargadores y elementos de carga. Recientemente este agregado ha permitido su aplicación en elementos estructurales de concreto reforzado.

Como parte del seguimiento de estudio y análisis del concreto o mortero ligero, han surgido investigaciones recientes en países latinoamericanos como Brasil, Chile y México, países en los que han utilizado polvo de aluminio y espuma preformada para la elaboración de hormigón celular; también existen varios artículos de investigación que han mostrado respuestas positivas sobre el uso de este, mencionados a continuación:

- Arce, P., Aldana, C., Mendoza, K., y Polanco, W. (2011). El hormigón celular. Universidad de las Américas, Chile.
- Avilés, W., y Naranjo, R. (2013). Estudio del hormigón celular. Escuela Politécnica nacional, Ecuador.

El jabón se ha utilizado en la industria de la construcción para manufactura de bloques de mampostería, morteros de pega y revoques o pañetes. Estudios hechos por el Ingeniero colombiano José Gilberto López Herrera y años de experiencia en el campo muestran como beneficios; mejor plasticidad en la mezcla, textura, extendido, compactación, adherencia y homogeneidad de la mezcla. También evita la degradación de la mampostería con el paso del tiempo, evita la proliferación de hongos, humedades, deterioros y poco mantenimiento rutinario, preventivo y correctivo. En la elaboración de mampostería de concreto con jabón como aditivo espumante permite que al tercer día pueda emplearse para su fin si requerir más tiempo de fraguado, reduciendo tiempo de producción y disposición, costos y se requeriría menos espacio de almacenaje, además de ser impermeabilizantes y los beneficios que esto trae. (Castro, 2021, P.7)

III. Justificación

La construcción en Nicaragua viene creciendo paulatinamente, y esto trae una repercusión en los procesos constructivos que se usan a nivel nacional, ya que pueden diferir desde los métodos ya austeros hasta los métodos más convencionales, no obstante, hay muchos más que aún se desconocen debido a las pocas indagaciones al respecto, dentro del cual se encuentran los concretos aligerados.

El concreto aligerado tiene una propiedad muy enmarcable con respecto al mortero convencional, y es la presencia de una baja densidad, haciéndolo mucho más liviano y apto para llevarlo a cabo en diversos proyectos. Dentro de los concretos aligerados, se ramifican muchos más, dependiendo de los aditivos que estos involucren, sin embargo, existe uno que viene posicionándose en diferentes partes del mundo como un buen relevo al mortero tradicional. Conocido comercialmente como concreto celular en los países que lo usan, dicho concreto tiene un potencial muy alto en su práctica.

Un material celular, no dañino para el medio ambiente, liviano, que sirve como material constructivo y que también tiene aislamiento térmico, acústico y resistencia a fuego y termitas. Se puede compensar el costo más alto del material por costos más bajos de mano de obra, acabado, mantenimiento y energía. La ausencia de agregado grueso y el efecto de rodamiento producido por los materiales proporcionan una buena consistencia al concreto celular. No es necesaria la vibración cuando se vacía, ya que el sistema de concreto celular se distribuye uniformemente y llena todos los espacios completamente con la misma densidad en el elemento. (Ninaquispe, 2007, P.10)

El mercado nacional de la construcción está poco a poco empezando a encontrar rutas alternas a la sostenibilidad de obras, por lo que es muy importante demostrar la facilidad de dicho enfoque con la utilización de este material, que, si bien no es novedoso, logrará diversificar los mecanismos constructivos.

IV. Objetivos

4.1. Objetivo general

Elaborar la mezcla de concreto celular, utilizando jabón líquido como agente espumante, para obtener una mezcla aligerada con respecto al mortero tradicional.

4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las materias primas que componen el concreto celular.
- Realizar diseños de mezclas de concreto celular de baja densidad, sin comprometer la resistencia a la compresión, partiendo de una dosificación óptima de jabón líquido, mediante métodos de tanteo.
- Comparar las propiedades físico-mecánicas entre el concreto celular y el mortero convencional.
- Realizar un análisis de costo de la elaboración de concreto celular y mortero tradicional.

V. Marco teórico

5.1. Conceptos Generales

5.1.1. Mortero convencional

Se le denomina mortero a toda masa elaborada con materias primas como: arena, agua y cemento; pero también, puede ser fabricado mediante cemento, yeso o cal, y también pueden añadirse aditivos como emulsionantes, aglomerantes, aceleradores o plastificantes.

5.1.2. Concreto liviano

El término de concreto liviano hace referencia a concretos celulares que, a partir de la creación de burbujas de aire o gas, hacen que el sólido se vuelva menos denso y, por ende, se obtenga una disminución de carga muerta.

El concreto liviano es considerado con ese nombre a los concretos cuya densidad es menor a la del concreto convencional. Esta densidad se encuentra en un rango que varía entre 300-1850kg/m³.

Los concretos livianos se clasifican según su modo de producción, estos pueden ser:

- Concreto de agregado ligero: se utilizan agregados livianos porosos de baja gravedad específica aparente.
- Concreto aireado, celular, espumoso o gaseoso: se denominan así por la creación de vacíos dentro del concreto que se distinguen de los huecos producidos por el arrastre de aire.
- Concreto sin finos: en este no existe presencia de agregado finos, lo que da lugar a una gran cantidad de vacíos.

5.1.3. Concreto celular con aditivo espumante

El concreto celular con aditivo espumante tiene la función de producir espuma a partir de cambios químicos y físicos para formar estructuras de aire cerradas, lo cual reduce la densidad del concreto y da otras ventajas como disminución acústica, alta resistencia al fuego, entre otras.

5.2. Propiedades físico-mecánicas de las materias primas en el concreto celular y mortero convencional.

Es esencial determinar las propiedades que pueden lograr cada uno de los materiales que componen una mezcla, dándole así, una mejor finalidad y aplicación a esta, y para ello, se disponen de ensayos que determinarán los resultados en base a parámetros establecidos por medio de normas. La ASTM establece una norma que engloba todas las prácticas que se pueden llegar a desarrollar en un laboratorio sobre materiales de construcción, la cual es:

ASTM C670: Práctica estándar para preparar declaraciones de precisión y sesgo para métodos de prueba para materiales de construcción.

5.2.1. Cemento

El cemento es el material más utilizado en los procesos de construcción, es obtenido a partir de la calcinación de piedra caliza, mineral de hierro y arcilla, a una temperatura de 1,450°C. Este aporta propiedades necesarias y exitosas a las construcciones, tales como, resistencia a la compresión, durabilidad y estética.

Según la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense sobre Fabricación, uso y manejo del cemento NTON 12 006-11, Sección 3.5; el cemento hidráulico es el que reacciona y endurece por interacción química con el agua y que se puede hacerlo aún bajo ella.

- **Tipos de cemento:**

Según la norma ASTM C 1157, existen los siguientes cementos:

Figura 1 Tipos de cemento

Tipo GU	De uso general en construcción, se emplean cuando no se requieren condiciones especiales
Tipo HE	De alta resistencia inicial o temprana.
Tipo MS	De moderada resistencia a los sulfatos.
Tipo HS	De alta resistencia a los sulfatos.
Tipo MH	De moderado calor de hidratación
Tipo LH	De bajo calor de hidratación.

Fuente: ASTM C 1157

- Propiedades:

- ✓ *Peso específico:*

Es la relación que existe entre el peso de un volumen dado del material a cierta temperatura con el peso de un volumen igual de líquido a esa misma temperatura (Matus y O 'Connors, 2020)

El método más común para determinar la densidad del cemento es el de Le Chatelier, descrito en la normativa ASTM C-188, y es importante para determinar el volumen que ocupa una masa de cemento dentro de un metro cúbico de concreto.

- ✓ *Consistencia normal:*

Se determina para conocer los requerimientos de agua de un cemento y depende del contenido de agua de la pasta y varía entre cementos. (H, Panda)

Detallada por la norma ASTM C-187; la consistencia normal se mide por medio del aparato de Vicat, este instrumento consiste en una estructura metálica, escala graduada con índice, una sonda deslizante de 300 gramos, émbolo para medir la consistencia de 10 mm de diámetro y una placa de vidrio. El método se logra cuando la aguja logra penetrar un punto entre 10 ± 1 mm a los 30 segundos, por debajo de la superficie original.

- ✓ *Tiempo de fraguado:*

Establecido bajo la normativa ASTM C-191, el fraguado es el cambio de estado plástico al estado endurecido de la pasta de cemento, es decir, hay una presencia de dos tiempos (inicial y final).

5.2.2. Agregado fino

Los agregados finos son todas aquellas partículas que poseen un diámetro inferior a 4.75 mm o pasa el tamiz 3/8", generalmente son provenientes de desgastes naturales que han transcurrido en rocas o de manera artificial, la cual consiste en triturar rocas con la maquinaria óptima. Sin embargo, este agregado está limitado en su diámetro mínimo, ya que si posee un diámetro menor a 0.075 mm o pasa el tamiz No. 200 ya pierde el derecho a nombrarse agregado fino.

Esto se lleva a cabo mediante el reglamento ASTM D75: Práctica estándar para muestreo de agregados.

Igualmente, se hará uso de arena como agregado fino por lo que se tendrá en consideración la normativa ASTM C 778: Especificaciones para arena estándar.

Uno de los métodos principales a realizar en las muestras es la determinación a tamaño ensaye, con el objetivo de reducir la muestra obtenida a un tamaño conveniente para realizar todos los ensayos posibles.

Este método se puede realizar de tres formas distintas:

- Cuarteo mecánico o partidor de muestras.
- Cuarteo manual.
- Apilado en miniatura.

Esta práctica se normaliza por el Estándar ASTM C702: Reducción de muestras de agregados al tamaño de prueba.

Propiedades del agregado fino:

✓ Humedad:

Es la cantidad o porcentaje de agua que tiene un cuerpo de masa en su interior, esta cantidad dependerá de qué tanta porosidad pueda poseer el material.

ASTM C566: Método de prueba estándar para el contenido total de humedad evaporable del agregado por secado.

✓ Análisis granulométrico:

Es la medición de partículas que se da a una muestra de agregado, dándole así una caracterización físico-mecánica en dependencia del resultado obtenido de la muestra.

ASTM C136: Método de prueba para análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.

ASTM C33: Especificación estándar para agregados de concreto. (Aplicable también para mortero)

✓ *Gravedad específica:*

La gravedad específica es la densidad de un material en relación con el agua. Dado que las rocas constan de varias fases distintas de mineral, no tienen una gravedad específica fija. (Société Générale de Surveillance [SGS], s.f)

✓ *Absorción:*

Es el incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, sin incluir el agua adherida en la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca. (Universidad Centroamericana, s.f, p.2)

Características determinadas por la Normativa ASTM C128: Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino. Esta normativa cubre la determinación de la densidad relativa (gravedad específica), una cualidad adimensional y se expresa como secado al horno (OD), secado superficial saturado (SSD) o como densidad relativa aparente (gravedad específica). La densidad relativa OD se determina después de secar el agregado. La densidad relativa SSD y la absorción se determinan después de remojar el agregado en agua durante un tiempo determinado. Cabe resaltar que este método no está diseñado para usarse con agregados livianos que cumplan con los agregados del Grupo I de la Especificación ASTM C332: Especificación estándar para agregados livianos para hormigón aislante no expuesto a la intemperie.

✓ *Peso unitario:*

La "densidad aparente" de una roca se obtiene como resultado del porcentaje de todos los minerales de una muestra multiplicados por la gravedad específica de cada uno de ellos. (SGS, s.f)

Se establece bajo la normativa ASTM C29: Método de prueba estándar para densidad aparente (Peso unitario) y vacíos en agregados. Este método de prueba

cubre la determinación del peso unitario del agregado en una condición compactada o suelta y vacíos calculados en agregados finos, gruesos o mixtos basados en la misma determinación. Este método de prueba es aplicable a agregados que no excedan las 6 pulgadas (150 mm) en tamaño máximo nominal.

✓ *Impurezas orgánicas:*

La presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino debilita la propiedad mecánica de la mezcla final, ya que muchas veces la presencia de estas, conllevan porcentajes considerables de ácido tánico, proveniente de partículas naturales como cortezas, hojas y frutos de árboles.

Se establece bajo la normativa ASTM C40: Método de prueba para impurezas orgánicas en agregados finos para concreto.

5.2.3. Agua

Considerado como el agente hidratante de las partículas de cemento, tiene la función de reaccionar con el cemento creando una pasta que luego se endurece y un porcentaje del agua se pierde por evaporación. Es de suma importancia saber la dosificación exacta para saber la cantidad de agua a agregar, ya que esto afecta a la densidad que tendrá el concreto. Con respecto al uso, se requiere agua potable bajo la normativa ASTM C 1602.

5.2.4. Aditivo espumante

Cabe destacar que el aditivo espumante únicamente se añadirá en el concreto celular y no en el mortero convencional, con el propósito de que sea el factor que le de menor densidad a la mezcla de concreto celular.

Considerado el factor que le da la baja densidad al concreto, es creado mediante la utilización de un agente espumante como jabón líquido u otras materias primas que ocasionen burbujas de aire en el concreto.

Este agente espumante puede ser depositado de manera líquida al momento de la mezcla con el agua y cemento, o, se puede realizar como espuma preformada originaria de un equipo generador de espuma, para luego ser agregada a la masa cementante y obtener el concreto más liviano.

Las normativas que se utilizan para este método son:

- ASTM C 869, utilizado para los agentes espumantes específicamente formulados para hacer espuma preformada y luego ser utilizada en la producción de concreto celular.
- ASTM C 796, este método de prueba proporciona una forma de medir en el laboratorio el desempeño de un químico espumante que se usará para producir espuma, y de esta forma hacer el concreto celular.

5.3. Diseño de concreto celular a partir de un aditivo espumante óptimo

El concreto celular posee múltiples componentes que le da mayor versatilidad en una estructura, si bien se enfatiza en su peso ligero, también puede presentar otras virtudes como una mayor característica hidrófuga, mejor aislamiento térmico-acústico y amplia resistencia a la compresión.

5.3.1. Métodos de obtención del concreto celular

Para la obtención de una muestra óptima en el ensayo de laboratorio, es de suma importancia el método a emplearse, por ejemplo, existen dos formas para lograr un concreto celular exitoso: por proceso químico o por proceso espumado.

5.3.1.1. Proceso Químico

Es una reacción química que se da al combinar la mezcla de mortero más el componente químico, por ejemplo, polvo de aluminio, peróxido de hidrógeno o cloruro de cal. Esto reacciona de tal forma que surgen cápsulas de hidrógeno dentro de la mezcla final y así le da un cuerpo aireado al elemento a diseñar.

5.3.1.2. Proceso Espumado

Consiste en la formación de espumas por medio de agitación entre el agente espumante y la mezcla inicial del mortero, dicho procedimiento crea burbujas de hidrógeno que luego en su secado (ya sea a temperatura ambiente o por autoclave) se convierten en espacios vacíos. En este proceso se puede encontrar una manera donde se añade un aditivo que lleva con función la incorporación directa del aire y la otra es la aplicación de una espuma ya preformada a la mezcla.

Dichos procesos anteriormente explicados varían en la práctica diaria, ya que los procesos químicos utilizan como medio de curado el secado a alta presión o en autoclave, y esto se debe a que necesita una adecuada generación de la *tobermorita*. La hidratación del cemento consiste esencialmente en la formación de silicatos de calcio hidratados que se agrupan y forman el gel de tobermorita considerado como responsable de las propiedades esenciales de la pasta de cemento endurecida. Si no se curara en autoclave no se formaría correctamente el gel de tobermorita, el cual, se refleja en agrietamientos y mala calidad del producto. Los métodos espumados no forman grandes proporciones de tobermorita, por lo

que, no requerirían autoclaves, sin embargo, se pueden introducir los productos de espuma en cámaras de autoclave con la finalidad de aumentar su resistencia, sin embargo, impactaría en el costo final. (Neville, 1992).

5.3.2. Espuma Preformada

Dicha espuma se forma con la dilución de líquido espumante en agua por medio de cantidades controladas, para luego ser sometido a un generador de espuma el cual será el encargado de crear la espuma final. La mezcla debe contener una estructura que le permita soportar las embestidas de la intemperie, tanto acciones físicas como químicas, no obstante, esto no sería un problema mayor si desde su mezclado, llenado y fraguado se constata que las burbujas de aire que contiene la mezcla en su interior sean estables y no sufran estallidos.

5.3.3. Jabón lavaplatos líquido

Es una sustancia con características tensoactivas y espumantes al tener contacto directo con el agua, por lo que al tener particularidad desinfectante previene la proliferación de materias orgánicas como hongos, mohos y bacterias.

5.3.4. Caracterización del aditivo espumante

Para llevar a cabo un buen ensayo del aditivo espumante se contemplan las características claves que este le dará al concreto celular, esto parte de los beneficios que puede conseguir en dicho elemento.

- **PH:** Un jabón puede poseer características ácidas alcalinas o ácidas, esto dependerá de su nivel de pH. El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución. (Química, Sf)
- **Viscosidad:** La viscosidad es la propiedad termofísica de los fluidos ocasionada por sus fuerzas de cohesión molecular y resulta en la oposición que oponen a escurrir, por lo que requieren la aplicación de un esfuerzo o presión. (Ier, Sf)
- **Solubilidad:** La solubilidad es una capacidad química que tiene una sustancia al diluirse en otra. Puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o en porcentaje de soluto; en algunas condiciones puede sobrepasarla, denominándose a estas soluciones sobresaturadas. El método

preferido para hacer que el soluto se disuelva en esta clase de soluciones es calentar la muestra. La sustancia que se disuelve se denomina soluto y la sustancia donde se disuelve el soluto se llama disolvente. (Química.es)

- **Ingredientes activos:** Es el responsable de que el producto final tenga la capacidad de desempeño diseñado inicialmente, por lo que es necesario que toda sustancia química posea ingredientes activos.
- **Apariencia:** Característica física que brinda un elemento al interactuar visualmente con el espectador.
- **Caducidad:** Es el período en el que un elemento ya no brinda la eficacia que anteriormente proporcionaba.

5.3.5. Dosificación

La dosificación es la integración de un elemento a un conjunto previamente dividido en proporciones controladas, estableciendo una homogenización entre ellos, lo que permitirá analizar su comportamiento físico y determinar las características óptimas que se desean lograr.

5.4. Propiedades físicas y mecánicas presentes en el concreto celular y mortero convencional

Este apartado, explicará las propiedades físicas y mecánicas que se presentarán en el concreto celular y mortero convencional, con el propósito de ver que pruebas y métodos se realizarán en ambos; cabe destacar que, aunque sean las mismas pruebas, el comportamiento no será el mismo en ambos.

5.4.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión está ligada a la densidad que tendrá el concreto, y esto depende de la calidad de la pasta, calidad del agregado y la adherencia del agregado con la pasta más el aditivo espumante.

Según Gibson y Ashby (1997), existe un modelo de deformaciones de los límites de las celdas de aire, por ende, las propiedades mecánicas de los materiales dependen de la densidad relativa, es decir la densidad aparente y real.

Otros parámetros que influyen en la resistencia a la compresión de un concreto celular son:

Figura 2 Parámetros que afectan la resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

La prueba para determinar la resistencia a la compresión de los especímenes, se deberá realizar bajo la normativa ASTM C 780, conocido como “Método de prueba estándar para la evaluación previa a la construcción y la construcción de morteros para mampostería de unidad simple y reforzada”.

5.4.2. Peso volumétrico

Es una de las propiedades más importantes del concreto celular y depende directamente de la porosidad, peso específico, compacidad y granulometría de los materiales. El método empleado para su determinación es similar al usado para concretos convencionales y por lo tanto se rige bajo la normativa ASTM C 138.

5.4.3. Densidad

La baja densidad es la característica más sobresaliente del concreto celular y ésta dependerá absolutamente de la elaboración y los materiales ocupados, entre mejores opciones se tengan, mejor densidad óptima se obtendrá.

La densidad aparente seca será uno de los valores a calcular, mediante pruebas de laboratorio que se realizan en probetas, este valor suele ser de 0.1 a 0.15 g/cm³ menor que la densidad aparente en estado fresco. (Lazo, 2017).

5.4.4. Grado de fluidez

Hace referencia a la forma que tiene la mezcla de ser manejable, esto incluye la facilidad con la que puede ser cargado y descargado y, la facilidad al momento del encofrado. Está regulada bajo la normativa ASTM C 780.

5.4.5. Temperatura de la mezcla

La temperatura de la mezcla afecta todas las propiedades del concreto en estado fresco, en especial al asentamiento y el contenido de aire, de ella dependen las reacciones químicas que se produzcan dentro de las mezclas.

Esta medición de la temperatura se realiza según el método que designa la norma ASTM C1064 y debe ser realizado dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra.

5.5. Ventajas de la utilización de concreto celular

Existen múltiples ventajas que engloban al concreto celular, lo cual lo hacen un componente diferencial con respecto al mortero convencional.

5.5.1. Reducción de la carga muerta

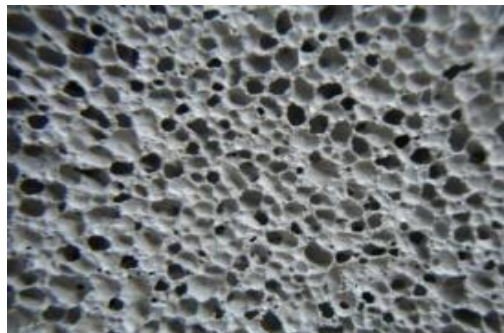
Característica que es brindada gracias a la baja densidad que posee. Esto le proporciona al concreto celular un menor peso sin reducir perjudicialmente su capacidad portante, por lo que resulta como una buena opción para un sistema de una o más plantas. Esto le beneficiaría a la edificación mejor comportamiento ante eventos sísmicos, ya que debido a su liviandad no ocasionaría el porcentaje de daños estructurales normalmente visto en el concreto convencional.

De igual forma su bajo peso traduce a una facilidad en el transporte, ya que muchas veces la transportabilidad del mortero convencional se ve limitado a la capacidad máxima de peso que posee un vehículo de carga, esto ayudaría indirectamente a los costos de transporte.

5.5.2. Aislamiento térmico

El concreto celular debe su nombre a las celdas de aire que contiene en su interior, las cuales le dan un aspecto celular; esta estructura le proporciona una característica particular, y es que, al no estar conectadas las “células” entre sí, la transmisión de calor del exterior es intermitente.

Figura 3 Detalle de la estructura interna que posee un bloque celular



Fuente: Atmosfera

Como consecuencia el concreto celular prohíbe el ingreso de la temperatura exterior al interior, así como mantiene la temperatura interna de la edificación.

5.5.3. Aislamiento acústico

El aislamiento acústico es otra de las bondades que puede ofrecer este material, ya que su alta porosidad interna ayuda a una baja propagación del sonido. Dependerá mucho del espesor del concreto y su densidad si se quiere un mayor aislamiento acústico.

5.5.4. Material ignífugo

El concreto celular muestra esta característica como otra gran ventaja con respecto al mortero convencional u otro sistema constructivo, ya que ante la rápida expansión que pueda alcanzar un incendio, las personas asentadas dentro de una edificación, podrán evacuar a tiempo sin el peligro de que la estructura pierda sus propiedades estructurales y pueda ceder ante dicha eventualidad.

Existe una prueba denominada “Resistencia al Fuego de Concretos Aislantes Aligerados” realizada por A. Gustaferro, M. Abrams y A. Litvin, miembros de la Asociación de cemento Portland.

La prueba consiste en aplicar a fuego directo una cara de cada espécimen hasta el momento que el lado no expuesto al calor llegue a los 250 °F (121 °C). Para la realización de la prueba se utilizaron especímenes de 3 x 3 ft (0.91 x 0.91 m) y de espesores de 2, 3 ½ y 5 pulgadas (5.08, 8.9 y 12.7 cm) elaborados de concreto celular con espuma preformada, vermiculita y perlita. (Gustaferro, Abrams y Litvin, 1970).

En dicha prueba se concluyó que el concreto celular actúa muy bien ante incendios y que en dependencia a menor densidad logra mejores resultados.

5.5.5. Manejabilidad

Una cualidad muy emblemática del concreto celular es la manejabilidad, ya que, al ser un material muy bajo en densidad, su peso ligero permite una mayor facilidad y rapidez al momento de instalar un muro de mampostería. Al ser densamente bajo, tiene la particularidad de poder ser cortado por un serrucho para concreto, haciendo

de este material mucho más eficiente al momento de no dejar desperdicios en comparación al concreto tradicional.

VI. Hipótesis

6.1. Hipótesis de investigación

En la presente tesis, se realizará una investigación experimental explicativa, ya que está dirigida a la verificación de la hipótesis, denominada: “El concreto celular cumple con la prueba de resistencia a la compresión, a pesar de tener menor densidad”

- Variable: jabón líquido como aditivo espumante, el cual es el factor clave para obtener un concreto menos denso que un mortero convencional.

VII. Diseño metodológico

7.1. Tipo de investigación

7.1.1. Según el enfoque de investigación

En el presente trabajo investigativo se pretende determinar las características físicas y mecánicas del concreto celular, utilizando jabón líquido como agente espumante, con el fin de ver el comportamiento del concreto sin y con la adición del espumante; obtener la dosificación óptima mediante tanteos, determinar la resistencia a la compresión y comparar los resultados entre el concreto celular y el mortero convencional.

Por ende, según el enfoque de investigación será mixto, es decir, que tendrá un estudio cuantitativo ya que se determinarán cantidades de materiales, proporciones, porcentajes, y, también será un estudio cualitativo ya que se describirán procedimientos, fases, desarrollo y detalles de los materiales en todo el ámbito monográfico.

Para la práctica de la investigación se llevará a cabo la creación de una máquina generadora de espuma o “cañón de espuma” que será la herramienta responsable de la formación de una espuma consistente, dicha máquina será elaborada a partir de planos de diseño y se realizarán ensayos de prueba para considerar su funcionalidad óptima.

7.1.2. Según el alcance de resultados

La investigación del tema según el alcance de resultados será de manera descriptiva ya que se detallarán los pasos a realizar para llegar a una dosificación óptima donde la resistencia a la compresión sea satisfactoria, también se detallarán las propiedades que presentarán los materiales utilizados y las cantidades.

Por otra parte, la investigación según el alcance de resultados también podría calificarse como “exploratoria” ya que es un tema poco estudiado a nivel nacional, por lo cual se utilizarán guías o documentos externos que enriquezcan la información.

7.1.3. Según el tiempo de ocurrencia

Según el tiempo de ocurrencia la investigación será prospectiva ya que se recolectará la información mediante vayan ocurriendo los fenómenos debido a los cambios o consecuencias de una variable independiente, en este caso; se irán recolectando las características físico-mecánicas de cada una de las materias primas pertinentes y luego, en el desarrollo de las mezclas, también se determinarán las propiedades físico-mecánicas que estas poseen tanto en estado fresco como en estado endurecido.

7.2. Propiedades físico-mecánicas de las materias primas en el concreto celular y mortero convencional

Considerando un buen seguimiento a las normativas, el cemento a usar es del tipo GU o de Uso General.

Para valorar las propiedades de cada una de las materias primas que contendrán las mezclas, es importante realizar pruebas o métodos que verifiquen el comportamiento y los datos obtenidos, por ende, las normativas se detallarán a continuación:

7.2.1. Cemento

Debe cumplir con los siguientes reglamentos:

Tabla 1 Propiedades físico-mecánicas del cemento

PROPIEDAD A EVALUAR	CÓDIGO ASTM	DENOMINACIÓN DEL ENSAYO
Peso específico	ASTM C 188	Determinación de la densidad del cemento hidráulico
Grado de fluidez	ASTM C 187	Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento hidráulico
Tiempo de fraguado	ASTM C 191	Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la agujaj de Vicat

Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Agregado fino

Es de suma importancia que el concreto celular contenga agregado fino que brinde buena resistencia a la compresión, así como otras características que pueda otorgar a la mezcla, por lo que existen normativas que disponen de parámetros que debe cumplir dicho agregado; como lo son las siguientes normativas:

Tabla 2 Propiedades físico-mecánicas del agregado fino

PROCEDIMIENTO O PROPIEDAD A EVALUAR	CÓDIGO ASTM	DENOMINACIÓN DEL ENSAYO
Muestreo de agregados	ASTM D 75	Práctica estándar para muestreos de agregados
Reducción del tamaño del agregado	ASTM C 702	Reducción de muestra de agregados a tamaños de ensayos
Humedad	ASTM C 566	Determinación del contenido de humedad de los agregados
Análisis Granulométrico	ASTM C 136	Método de prueba estándar para análisis de tamiz de agregados finos y gruesos
Agregados del mortero	ASTM C 33	Especificación estándar para agregados de concreto (Funcional para mortero)
Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino	ASTM C 128	Determinación de la gravedad específica y porcentaje de

		absorción del agregado fino
Pesos unitarios y porcentaje de vacíos	ASTM C 29	Determinación de los pesos unitarios secos suelos y secos compacto de los agregados gruesos y finos
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino para mezclas de concreto (funcional para mortero)

Fuente: Elaboración propia

El agregado a usarse en la mezcla está definido como un agregado fino del tipo arena natural destinada de un banco de elección.

7.2.3. Agua

No se realizará ninguna prueba a esta, basta con que sea agua potable, pero la designación ASTM para este método sería ASTM C 1602.

7.2.4. Espuma preformada

Este es el componente diferencial que hace al concreto celular tener propiedades enmarcables como el aislamiento térmico o la baja densidad, se debe procurar que la sustancia espumante que genere, brinde burbujas de aire ampliamente resistentes a las fatigas que se someterán en el proceso de fabricación del concreto celular; las normativas que establecen un buen uso de este agente se encuentran en:

Tabla 3 Propiedades físico-mecánicas de la espuma preformada

PROCEDIMIENTO O PROPIEDAD A EVALUAR	CÓDIGO ASTM	DENOMINACIÓN DEL ENSAYO
Desempeño químico del espumante	ASTM C 796	Método de prueba estándar para agentes espumantes para uso en la producción de concreto celular usando espuma preformada.
Desempeño químico del espumante	ASTM C 869	Especificación estándar para agentes espumantes utilizados en la fabricación de espuma preformada para hormigón celular.

Fuente: Elaboración propia

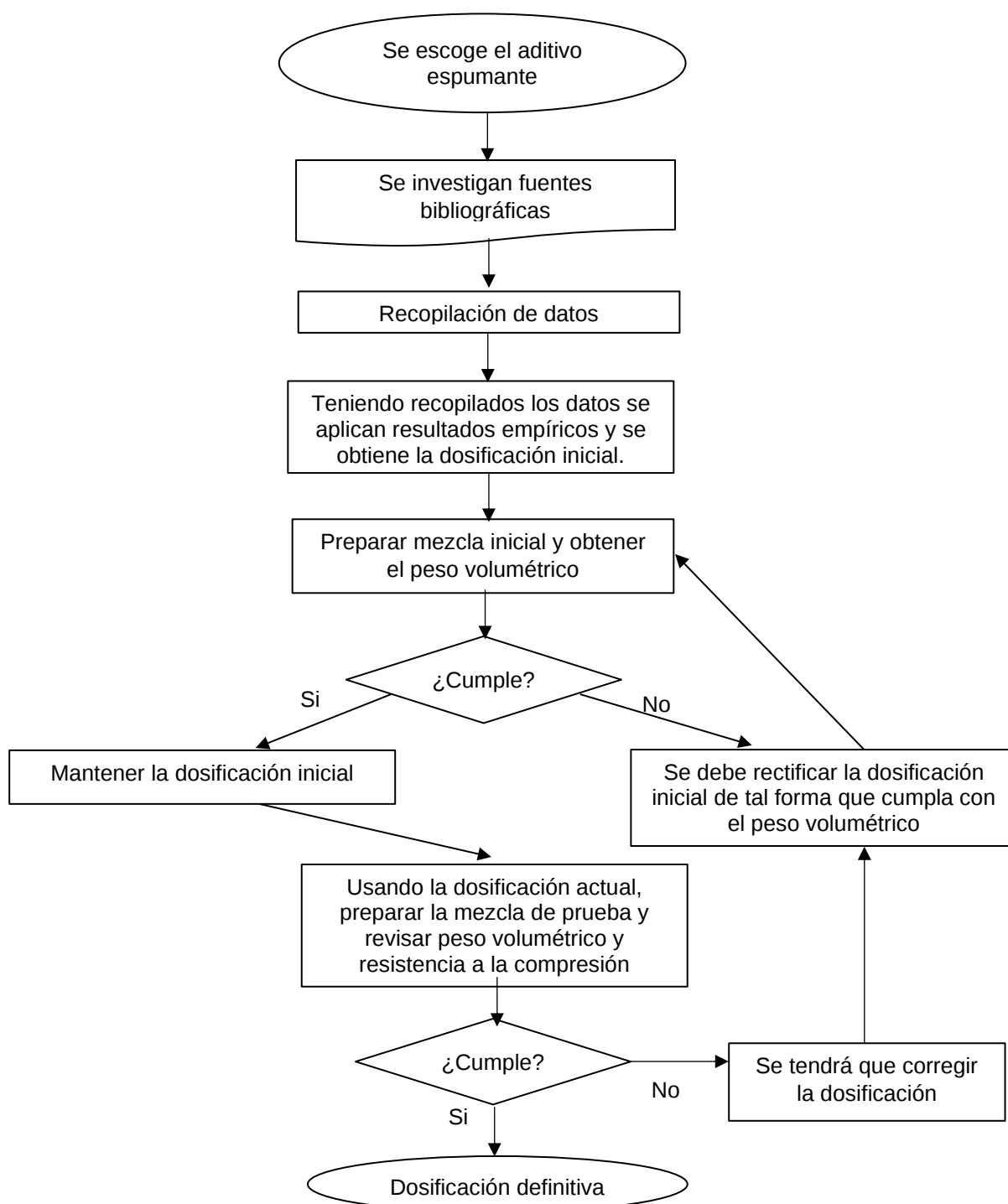
La espuma preformada a crear, proviene del jabón líquido, el que tiene propiedades espumantes muy remarcables y posee burbujas de buena textura y resistencia.

7.3. Metodología para la obtención de la mezcla de concreto celular, partiendo de la dosificación óptima del aditivo espumante, sin comprometer la resistencia a la compresión diseñada

Es de suma importancia garantizar la dosificación de agente espumante que tendrá incorporada la mezcla del concreto celular, para lo cual se realizará un modelo de tanteo, en el que se integrarán múltiples variantes de dosificación para llegar mediante un diagrama de flujo a la variante óptima.

Se decidió trabajar con un diagrama de flujo o flujograma, el cual, es un esquema que sintetiza la resolución a un problema por medio de un algoritmo, consistente en gráficos que comprenden diversas operaciones representadas por símbolos, los que deberán llevar un orden lógico en su ejecución (Herrera, 2020). Esto le permite ser mucho más práctico para una comprensión en general. A continuación, se muestra el flujograma que se lleva a cabo para la obtención de una mezcla idónea de concreto celular.

Figura 4 Metodología para la obtención de la dosificación óptima del aditivo espumante



Fuente: Elaboración Propia

7.4. Metodología para las propiedades físicas y mecánicas presentes en el concreto celular y convencional

Para la elaboración del mortero convencional se tendrá en cuenta las consideraciones a los agregados que componen esta mezcla mediante la normativa ASTM C 144 denominada: “Especificaciones de agregados para morteros de mampostería”. De igual manera se deberá tener en cuenta el proceso de elaboración de esta mezcla mediante la normativa ASTM C 270, la cual describe el método de mezclado y elaboración de muestras de prueba en el laboratorio, y para la mezcla de concreto celular será similar, pero con la particularidad del aditivo espumante.

En esta parte se analizarán las características que presentan ambas mezclas, por lo que, se ejecutarán los mismos ensayos a las dos mezclas tanto en estado fresco como en estado endurecido.

- Ensayos en estado fresco

Tabla 4 Propiedades físico-mecánicas de la mezcla en estado fresco

PROCEDIMIENTO O PROPIEDAD A EVALUAR	CÓDIGO ASTM	DENOMINACIÓN DEL ENSAYO
Determinación de Fluidez	ASTM C 780	Método de prueba estándar para la evaluación previa a la construcción y la construcción de morteros para mampostería de unidad simple y reforzada.

Peso volumétrico	ASTM C 138	Densidad, volumen y contenido de aire en una mezcla de concreto (Funcional para mortero)
Temperatura de la mezcla	ASTM C 1064	Método de ensayo de medición de la temperatura del concreto recién mezclado (Funcional para mortero)

Fuente: Elaboración Propia

- Ensayos en estado endurecido

Tabla 5 Propiedades físico-mecánicas de la mezcla en estado endurecido

PROCEDIMIENTO O PROPIEDAD A EVALUAR	CÓDIGO ASTM	DENOMINACIÓN DEL ENSAYO
Resistencia a la compresión	ASTM C 780	Método de prueba estándar para la evaluación previa a la construcción y la construcción de morteros para mampostería de unidad simple y reforzada.

Fuente: Elaboración Propia

Para mayor practicidad se implementará la guía de laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Nacional de Ingeniería, específicamente la práctica No. 9 llamada: Determinación de la resistencia a la compresión de morteros usados en obras de albañilería, usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado o especímenes cilíndricos. (Matus, I. y Lindo, S)

Otros factores a comparar serán apariencia, dosificaciones, costos de fabricación. Para el análisis de comparaciones se realizarán ensayos de laboratorio que demuestren lo obtenido, informes del comportamiento presentado, cálculos, entre otros.

7.5. Metodología para el análisis de costo de elaboración de ambas mezclas

7.5.1. Costos Unitarios

Para la obtención de estos costos, se realizará una búsqueda integral de cada precio del mercado con respecto a los materiales y productos a utilizar, luego se elegirá el mejor precio, teniendo en cuenta también la mejor calidad.

Se enfatizará el costo de materiales en base a un metro cúbico (m3) de cada mezcla.

7.5.2. Costos Directos

Considerados como aquellos costos que están relacionados directamente con un proceso o acción, determinan inequívocamente los materiales que integran un proceso y mantiene un orden lógico mediante se van calculando.

- Costos de materiales

Se define como el costo de cada material a usar en cada mezcla por unidad de medida, dividiéndose de la siguiente forma.

- Concreto Celular

Tabla 6 Costo de materiales para el concreto celular

Concepto	U/M	Moneda
Cemento	Kg	C\$
Arena	M3	C\$
Espumante	Lts	C\$
Agua	Lts	C\$

Fuente: Elaboración Propia

- Mortero Tradicional

Tabla 7 Costo de materiales para el mortero tradicional

Concepto	U/M	Moneda
Cemento	Kg	C\$
Arena	M3	C\$
Agua	Lts	C\$

Fuente: Elaboración Propia

VIII. Cronograma de actividades

Figura 5 Cronograma de trabajo monográfico

Nº	Actividad	Tiempo de Ejecución Mes y Semanas. - AÑO 2023															
		feb-23				mar-23				abr-23				may-23			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Desarrollo investigativo de los materiales a usar tanto para concreto celular como mortero convencional																
2	Reconocimiento del banco de material para el agregado fino, adquisición y transporte del material																
3	Adquisición del aditivo espumante																
4	Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las materias primas del concreto celular y del mortero convencional mediante ensayos de laboratorios																
5	Fabricación y prueba de funcionalidad del generador de espuma																
6	Prueba de dosificación óptima para el aditivo espumante																
7	Diseño de mezcla para el concreto celular y el mortero convencional en estado fresco mediante ensayos de laboratorio																
8	Determinación de propiedades del concreto celular y el mortero convencional en estado seco mediante ensayos de laboratorio																
9	Examinar los costos de fabricación para ambas mezclas																
10	Tutoría																

Fuente: Elaboración Propia

IX. Referencias bibliográficas

Atmosfera. (2016). La tecnología de la producción de bloques de hormigón celular. Recuperado de <https://www.atmosfera.com/tecnologia.htm>

Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2011). Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense Fabricación, Uso y Manejo del Cemento. Editorial. Managua: Autor.

Barrantes Maradiaga, M., Mora Molina, K. (2018). Análisis comparativo del comportamiento físico-mecánico de un concreto hidráulico fabricado con agregados reciclados y un concreto hidráulico convencional. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Nacional de Ingeniería UNI-RUPAP, Managua, Nicaragua.

Gustaferro, A., Abrahams, M., Litvin, A. (s.f). Fire Resistance of Lightweight Insulating Concretes. Portland Cement Association.

Herrera, A. (2020). Diagrama de flujo. Recuperado de <https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2020/05/DIAGRAMAS-DE-FLUJO.pdf>

Instituto Politécnico nacional. (2022). Viscosidad. México: Autor.

Izquierdo Cárdenas, M., Ortega Rivera, O. (2017). Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

Neville, Adam M. (1992). Tecnología del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México, D.F.

Norman, A. (2020). Clasificación de los hormigones livianos según su método de producción. SCRIBD. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/454509111/Clasificacion-de-los-Hormigones-livianos-segun-su-metodo-de-Produccion>

Rivera Martínez, K., Rivas Vega, J. (2019). Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de unidades de bloques de concreto con unidades de bloques

de mortero (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Nacional de Ingeniería UNIRUPAP, Managua, Nicaragua.

SGS. (s.f). Gravedad específica y densidad aparente. Recuperado de <https://www.sgs.mx/es-es/mining/analytical-services/physical-testing/specific-gravity-and-bulk-density#:~:text=La%20%E2%80%9Cgravedad%20espec%C3%ADfica%E2%80%9D%20es%20la,tienen%20una%20gravedad%20espec%C3%ADfica%20fija.>

Universidad Centroamericana UCA. (s.f). Densidad, Densidad Relativa, (Gravedad Especifica) y Absorción del Agregado Fino. Editorial. El salvador: Autor.

QUIMICA.ES. (s.f). Solubilidad. Lugar: Editorial.

Viridiana, R. (2017). Propiedades físicas y mecánicas del concreto. SCRIBD. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/357226560/Propiedades-Fisicas-y-Mecanicas-Del-Concreto>

Quimica.Es. (s,f). PH. Recuperado de <https://www.quimica.es/enciclopedia/PH.html>