

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE BLOQUES, COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS Y COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR PARA DENSIDADES DE 960 KG/M³, 1120 KG/M³ Y 1280 KG/M³ CON AGREGADOS DE LA CANTERA HUASQMAYO - CUSCO - 2023

PRESENTADO POR:

-Br. PAVEL RAMON CASTILLA HUAMAN

-Br. GABRIEL THIERRY MARIE

BOURDEAU GABRIEL

PARA OPTAR AL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

Mgt. Ing. MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: ANALISIS DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL DE BLOQUES, COMPRESION AXIAL DE PILAS Y COMPRESION DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERIA DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR PARA DENSIDADES DE 960 KG/M3, 1120 KG/M3 Y 1280 KG/M3 CON AGREGADOS DE LA CANTERA HUASAR MAYO - CUSCO - 2023

presentado por: GABRIEL THIERRY MARIE BOURDEAU G. con DNI Nro.: 73074089 presentado por: PAVEL RAMON CASTILLA HUAMAN con DNI Nro.: 48332611 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL

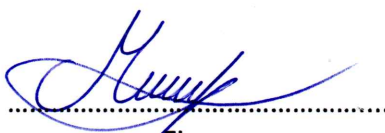
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 10 de DICIEMBRE de 2024.....



Firma

Post firma MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ

Nro. de DNI 46035754

ORCID del Asesor 0000-0002-3582-2907

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:380744576

NOMBRE DEL TRABAJO

INCREMENTO DE LA RESISTENCIA EN MURETES Y BLOQUES DE CONCRETO CELULAR.pdf

AUTOR

PAVEL CASTILLA GABRIEL BOURDEAU

RECUENTO DE PALABRAS

34712 Words

RECUENTO DE CARACTERES

167456 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

176 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

14.0MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 12, 2024 10:15 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 12, 2024 10:17 AM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 11 palabras)

DEDICATORIA

A mis padres, Sabine y Philippe Bourdeau por el apoyo incondicional y los buenos consejos, sin los cuales no habría llegado hasta aquí. A Dios, por los valores morales para realizar este trabajo honestamente. A mis hermanos y hermanas por el apoyo en todo su sentido. A Brenda Chávez, quién me ayudó a mantenerme firme de principio a fin. Y a mi amigo Pavel Castilla por los años de trabajo juntos que culminaron en este proyecto.

Gabriel Bourdeau

Dedico este trabajo a mi amada esposa, Katherine, por su apoyo incondicional en los momentos en que más lo he necesitado. A mi hijo Héctor, por darme el valor para ser mejor cada día. A mi madre, Julia, por darme la vida y enseñarme el verdadero significado de la fortaleza. A mi tío Samuel, por sus sabios consejos siempre oportunos. A mis hermanos y hermanas, por ser mi guía desde la infancia, mostrándome el camino a seguir. A todos mis compañeros de trabajo y amigos, por su colaboración y amistad. Y a Gabriel, por ser un buen amigo y por haberme acompañado en la culminación de este trabajo.

Pavel Castilla

AGRADECIMIENTO

Al ingeniero Abel Auca Bárcena, gerente general de Corporación Ayar S.A.C., por su apoyo y asesoramiento desde el inicio de este proyecto, cuya visión dio origen a esta investigación y que muy amablemente tomó la decisión de financiarla.

A nuestro asesor, el Mgt. Ing. Mijail Elio Rosas Gómez, que mostró un interés genuino en la investigación y siempre estuvo dispuesto a brindar sus conocimientos y apoyo cada vez que hiciera falta.

A los trabajadores de Corporación Ayar S.A.C., que siempre estuvieron presentes y nos animaban cada vez que se presentaba una dificultad a lo largo de este recorrido.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y su personal técnico por la ayuda brindada al momento de realizar los ensayos.

A los todos los ingenieros y administrativos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSAAC que nos ayudaron a sacar adelante este proyecto de investigación.

Pavel Castilla y Gabriel Bourdeau

RESUMEN

La tesis “Análisis del incremento de la resistencia a la compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes de albañilería de bloques de concreto celular para densidades de 960 kg/m³, 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ con agregados de la cantera Huasacmayo - Cusco – 2023” se basó en la elaboración de un nuevo material (concreto celular) para la región del Cusco, con el cual se fabricaron bloques para ser usados en albañilería no estructural. Se ensayaron bloques, pilas y muretes para ver el incremento de la resistencia conforme iba subiendo la densidad

Se usó una arena manufacturada de la cantera de Huasacmayo y de este modo se pueden realizar bloques de concreto celular con agregados de la región. El aditivo espumógeno que se utilizó fue de origen proteico. A diferencia de otros espumógenos, como los elaborados sintéticamente, los de origen proteico generan una espuma más estable por periodos cortos de tiempo y son utilizados para hacer concretos celulares de baja densidad.

La tesis se realizó en dos partes. La primera parte consistió en encontrar un diseño mezcla óptimo para cada densidad. Se tomaron en cuenta variables como las relaciones de agua/cemento, concentración de la espuma, rendimiento de la espuma y porcentaje de aditivo superplastificante. La cantidad de cemento y las relaciones de arena/cemento se calcularon con las fórmulas dadas por el ACI 523.3R-14. Una vez determinados y mejorados los diseños de cada densidad, se procedió a la segunda parte, que consistió en hacer bloques, pilas y muretes para ser ensayados y ver los incrementos de resistencia anteriormente mencionados. En la primera parte, se elaboraron 27 diseños de mezcla, 9 diseños para cada una de las densidades, con un total de 270 bloques de 10 cm x 15 cm x 30 cm. En la segunda parte, se elaboraron 3 diseños, uno por densidad. Para cada diseño, se sometieron 6 bloques y 3 pilas a compresión axial, y 3 muretes a compresión diagonal.

LA Norma E.070 “Albañilería” tiene como requisito que las unidades de albañilería no portante tengan como mínimo una resistencia a la compresión de 20 kg/cm²; sin embargo, la NTP 399.600 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos” tiene como exigencia que la resistencia de bloques de concreto para uso no estructural un promedio de resistencia a la compresión de 3 unidades de 4.15 MPa y unidad individual de 3.45 MPa. En esta investigación, se trabajó con la NTP 399.600. Las resistencias a la compresión de bloques, pilas y muretes obtenidas para densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ tuvieron un ligero incremento respecto al patrón de 960 kg/m³. El incremento fue significativamente inferior al estimado teóricamente.

Los incrementos de resistencia a compresión axial de bloques y de pilas, así como compresión diagonal de muretes hallados teóricamente con la guía ACI 523.3R-14 para las densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ son de 42.00% y 102.00% con respecto al diseño patrón de 960 kg/m³. La presente investigación obtuvo incrementos de 4.82% y 17.86% para la compresión axial de bloques, 12.20% y 15.71% para la compresión axial de pilas y 26.88% y 40.79% para la compresión diagonal de muretes.

Palabras clave: concreto celular, espumógeno, albañilería, concreto ligero.

ABSTRACT

The thesis titled “Analysis of the Increase in Axial Compression Resistance of Blocks, Axial Compression of Piles, and Diagonal Compression of Masonry Walls Made of Cellular Concrete Blocks for Densities of 960 kg/m³, 1120 kg/m³, and 1280 kg/m³ with Aggregates from the Huasaqmayo Quarry - Cusco – 2023” focused on the development of a new material (cellular concrete) for the Cusco region. Blocks were manufactured for use in non-structural masonry. Blocks, piles, and walls were tested to observe the increase in strength as the density increased.

A manufactured sand from the Huasaqmayo quarry was used, enabling the production of cellular concrete blocks with locally sourced aggregates. The foaming agent used was of protein origin. Unlike synthetic foaming agents, protein-based ones generate more stable foam for short periods and are used to produce low-density cellular concrete.

The thesis was conducted in two parts. The first part involved determining an optimal mix design for each density, considering variables such as water/cement ratios, foam concentration, foam yield, and superplasticizer dosage. The amount of cement and sand/cement ratios were calculated using formulas from ACI 523.3R-14. After determining and refining the mix designs for each density, the second part consisted of manufacturing blocks, piles, and walls for testing to evaluate the aforementioned increases in strength. In the first part, 27 mix designs were created—9 for each density—producing a total of 270 blocks measuring 10 cm x 15 cm x 30 cm. In the second part, 3 designs (one per density) were used, and for each design, 6 blocks and 3 piles were subjected to axial compression, and 3 walls to diagonal compression.

The E.070 "Albañilería" standard requires non-load-bearing masonry units to have a minimum compressive strength of 20 kg/cm². However, the NTP 399.600 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos” specifies that non-structural concrete blocks must have an average compressive strength of 4.15 MPa across 3 units and 3.45 MPa for individual units. This research adhered to NTP 399.600. The compressive strengths of the blocks, piles, and walls for densities of 1120 kg/m³ and 1280 kg/m³ showed a slight increase compared to the 960 kg/m³ baseline. However, this increase was significantly lower than the theoretical estimate.

Theoretically, based on the ACI 523.3R-14 guide, the axial compressive strength increases for blocks and piles, as well as diagonal compression for walls, were expected to be 42.00% and 102.00% for densities of 1120 kg/m³ and 1280 kg/m³, compared to the 960 kg/m³ baseline. This research found increases of 4.82% and 17.86% for axial compression of blocks, 12.20% and 15.71% for axial compression of piles, and 26.88% and 40.79% for diagonal compression of walls.

Key words: cellular concrete, foaming agent, masonry, lightweight concrete.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE IMÁGENES	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
3.1. Problema general.....	12
3.2. Problemas específicos	12
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
4.1. Objetivo general.....	13
4.2. Objetivos específicos	13
5. MARCO TEÓRICO.....	14
5.1. Normas	14
5.2. Antecedentes Nacionales	14
5.3. Antecedentes Internacionales.....	15
5.4. Bases Teóricas.....	16
5.4.1 Cemento.....	16
5.4.2 Agregado Fino.....	17
5.4.3 Concreto	18
5.4.4 Aditivo.....	19
5.4.5 Mortero de cemento.....	20
5.4.6 Concreto celular.....	20
5.4.7 Unidad de albañilería.....	20
5.4.8 Ensayos de Compresión en Pilas	23
5.4.9 Ensayos de Compresión de Muretes.....	24
5.4.10 Uso de ácido clorhídrico como reactivo en el concreto.....	25
6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	26
6.1. Hipótesis General.....	26
6.2. Hipótesis Específicas	26
7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	27
7.1. Tipo y Diseño de la Investigación.....	27
7.2. Operacionalización de variables	29
7.2.1 Variable independiente.....	30
7.2.2 Variable dependiente	30
7.3. Población y Muestra.....	30
7.3.1 Población.....	30
7.3.2 Muestra	30
7.4. Primera Etapa – Elaboración de los primeros diseños de mezcla	31
7.4.1 Propiedades de los Materiales	31
7.4.2 Selección de una guía para diseños de mezcla de concreto celular	34
7.4.3 Diseños de mezcla para la densidad de 960 kg/m ³	36
7.4.4 Diseños de mezcla para la densidad de 1120 kg/m ³	37

7.4.5	Diseños de mezcla para la densidad de 1280 kg/m ³	38
7.4.6	Procedimiento de mezclado.....	39
7.4.7	Elaboración de bloques.....	40
7.4.8	Densidades de la primera etapa	41
7.5.	Segunda Etapa – Optimización de los Diseños de Mezcla	44
7.5.1	Corrección de los diseños de mezcla	44
7.6.	Diseños de mezcla.....	50
7.6.1	Datos previos para el diseño.....	51
7.6.2	Diseño de mezcla para 1 m ³	51
7.6.3	Procedimiento de mezclado.....	52
7.6.4	Elaboración de bloques, pilas y muretes	54
8.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	58
8.1.	Resultados - Primera Etapa	58
8.1.1	Pruebas de dimensionamiento	58
8.1.2	Ensayo de alabeo	60
8.1.3	Resistencia a la compresión.....	61
8.1.4	Análisis de los diseños.....	64
8.2.	Resultados – Segunda Etapa	71
8.2.1	Pruebas de dimensionamiento	71
8.2.2	Resistencia a la compresión.....	72
8.2.3	Reacción con ácido clorhídrico	80
8.3.	Análisis de resultados.....	81
8.3.1	Bloques	81
8.3.2	Pilas	82
8.3.3	Muretes	82
8.4.	Discusión de los Resultados.....	83
9.	Cálculo del costo de los bloques	85
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
10.1.	Conclusiones	86
10.2.	Recomendaciones.....	87
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
12.	ANEXOS	90
12.1.	Anexo 1	90
12.2.	Anexo 2.....	91
12.3.	Anexo 3.....	93
12.4.	Anexo 4.....	95
12.5.	Anexo 5.....	99
12.6.	Anexo 6.....	118
12.7.	Anexo 7.....	128
12.9.	Anexo 8.....	151
12.10.	Anexo 9.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Gradación de arenas naturales y manufacturadas.....	17
TABLA 2 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	21
TABLA 3 Densidades, relaciones Ar/C (arena/cemento, A/C, cantidad de cemento y % de aditivo para diseños de la primera etapa.....	27
TABLA 4 Diseños de mezcla para la densidad de 960 kg/m ³ – Primera parte	36
TABLA 5 Diseños de mezcla para la densidad de 1120 kg/m ³ – Primera parte	37
TABLA 6 Diseños de mezcla para la densidad de 1280 kg/m ³ -Primera parte	38
TABLA 7 Rendimientos teóricos y reales de la espuma.....	41
TABLA 8 Densidades teóricas y reales del concreto celular	42
TABLA 9 Relaciones de A/C totales y relaciones de A/C del mortero	44
TABLA 10 Relaciones de A/C totales teóricas y relaciones A/C totales reales.....	45
TABLA 11 Relaciones A/C corregidas	46
TABLA 12 Relaciones A/C y rendimientos reales de la espuma.....	50
TABLA 13 Datos previos para las diferentes densidades	51
TABLA 14 Diseño de mezclas diferentes densidades para 1 m ³	51
TABLA 15 Diseño de mezclas diferentes densidades para 38 litros.....	52
TABLA 16 Cantidad de bloques por ensayo.....	54
TABLA 17 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	58
TABLA 18 Dimensionamiento de los bloques de 960 kg/m ³	59
TABLA 19 Dimensionamiento de los bloques de 1120 kg/m ³	59
TABLA 20 Dimensionamiento de los bloques de 1280 kg/m ³	60
TABLA 21 Alabeo para bloques de 960, 1120 y 1280 kg/m ³ de densidad.	60
TABLA 22 Resistencia a la compresión para 960 kg/m ³	61
TABLA 23 Resistencia a la compresión para 1120 kg/m ³	62
TABLA 24 Resistencia a la compresión para 1280 kg/m ³	63
TABLA 25 Selección de los mejores diseños de densidad 960kg/cm ³	67
TABLA 26 Selección de los mejores diseños de densidad 1120kg/cm ³	68
TABLA 27 Selección de los mejores diseños de densidad 1280kg/cm ³	69
TABLA 28 Dimensionamiento y alabeo de bloques.....	72
TABLA 29 Requisitos de resistencia para compresión axial de bloques de concreto no portante	72
TABLA 30 Calculo del Área Neta	73
TABLA 31 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial de bloques.....	73
TABLA 32 Incrementos a la compresión axial de bloques.....	75
TABLA 33 Factores de corrección altura/espesor para la resistencia a la compresión.....	75
TABLA 34 Ensayos de resistencia a la compresión de pilas	76
TABLA 35 Incrementos a la compresión axial de pilas respecto a la densidad.....	77
TABLA 36 Ensayos de resistencia a la compresión diagonal de muretes.....	78
TABLA 37 Incrementos a la compresión diagonal de muretes respecto a la densidad.....	80
TABLA 38 Resistencias teóricas - resistencias obtenidas en laboratorio	81
TABLA 39 Incremento teórico y real de resistencia para bloques.....	82
TABLA 40 Incremento teórico y real de resistencia para pilas.....	82
TABLA 41 Incremento teórico y real de resistencia para muretes.....	82
TABLA 42 Costo de bloque de 960 kg/m ³	85
TABLA 43 Costo de bloque de 1120 kg/m ³	85
TABLA 44 Costo de bloque de 1280 kg/m ³	85
TABLA 45 Costo de bloque de concreto convencional	85

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1	Operacionalización de variables	29
Imagen 2	Ubicación de la cantera	31
Imagen 3	Distancias entre el río Vilcanota y el río Huatanay	32
Imagen 4	Primera posición de mezclado en trompo con una inclinación de 45°	39
Imagen 5	Segunda posición de mezclado en trompo con una inclinación de 90°	40
Imagen 6	Elaboración de bloques	40
Imagen 7	Movimiento del mortero a través de las paletas de mezclador de mortero	47
Imagen 8	Primera modificación de las paletas de mezcla	48
Imagen 9	Última modificación de las paletas de mezcla	49
Imagen 10	Comportamiento del movimiento de la mezcla con la última modificación realizada	49
Imagen 11	Vertido de espuma en mezcla de mortero	52
Imagen 12	Control del volumen con escuadra	53
Imagen 13	Elaboración de bloques	54
Imagen 14	Refrentado de bloques	55
Imagen 15	Pegamento flexible SikaCeram	56
Imagen 16	Refrentado de bloques	56
Imagen 17	Elaboración de murete con dos unidades por hilera	57
Imagen 18	Refrentado de muretes	57
Imagen 19	Resistencia a la compresión de bloques de 960 kg/m ³	62
Imagen 20	Gráfico de resistencias para los diseños de densidades de 1120 kg/m ³	63
Imagen 21	Gráfico de resistencias para los diseños de densidades de 1280 kg/m ³	64
Imagen 22	Reacción de la espuma en contacto con el superplastificante	65
Imagen 23	Gráfico de análisis de diseños	70
Imagen 24	Gráfico de los diseños A3-2, A3-3, B3-2, B3-3, C3-2, C3-3	71
Imagen 25	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de axial de bloques con respecto al área neta	74
Imagen 26	Gráfico del promedio de la relación Esfuerzo/Diseño del ensayo de compresión axial de bloques	75
Imagen 27	Tipos de falla en pilas según la NTP 399.605	76
Imagen 28	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial de pilas	77
Imagen 29	Gráfico del promedio de la relación Esfuerzo/Diseño del ensayo de compresión axial de pilas	78
Imagen 30	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión diagonal de muretes	79
Imagen 31	Gráfico del promedio de la relación Esfuerzo/Diseño del ensayo de compresión diagonal de muretes	80
Imagen 32	Comparativo de resistencias teóricas y resistencias obtenidas en laboratorio	81

1. INTRODUCCIÓN

La idea de utilizar materiales de baja densidad para reducir el peso de las estructuras no es algo nuevo. El Panteón de Roma es un claro ejemplo de ello. En 125 d. C., los romanos, para poder construir el Panteón tal y como lo conocemos hoy, utilizaron materiales de densidades cada vez más bajas conforme aumentaba la altura de la cúpula. Lo hicieron comenzando desde la piedra travertino, la toba y llegando finalmente a la piedra pómez.

Sin embargo, el concreto celular, que se usa actualmente, surgió de la idea del que hoy se llama el “padre de la industria del hormigón ligero”, Stephen J. Hayde. Según datos tomados de una revista publicada por el Concrete International, Hayde nació en EE. UU., y fue hijo de padres irlandeses. Trabajó un tiempo con su padre, Patrick Joseph Hayde, ingeniero civil. De esta manera, se incorporó en el mundo de la construcción. Después de unos años, se hizo famoso como fabricante de ladrillos.

Como buen fabricante de ladrillos, era consciente de que no todos sus ladrillos eran quemados de la misma forma. Tenía tres clasificaciones de ladrillos. Primero, se encontraban los “duros” que podían ser usados para exteriores por ser más resistentes e impermeables. Luego, se encontraban los de color “salmón”, llamados así por su color, estos eran usados en interiores por su baja resistencia. Finalmente, estaban los “hinchados” que eran los ladrillos más expuestos a la fuente de calor. Esto producía que se calentasen demasiado rápido, y que los gases en su interior no pudiesen salir. A su vez, esto provocaba una expansión del ladrillo de más de un tercio su tamaño original. Stephen Joseph Hayde vio una gran oportunidad en esos ladrillos. Pensó que, triturándolos y mezclándolos con concreto, podría obtener una forma consistente de producir concreto liviano de sustancial resistencia y durabilidad y, así fue. Patentó el invento el 29 de enero de 1914; gracias a eso, la tecnología del concreto ligero llegó al punto en el que se encuentra hoy. El concreto ligero consistía en incorporar arcillas especiales, pizarras y roca de esquisto que se hacía después de calentarse a una temperatura de 1220°C para lograr la expansión de estos materiales y luego mezclarlos con el concreto.

En la Revista Civilízate de la PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú), podemos resaltar que existen dos sistemas de fabricación del concreto celular, con aire inyectado y químicamente. El segundo consiste en añadir agentes químicos con el fin de buscar reacciones que den como resultado hidrógeno en la mezcla de mortero o concreto. (Chura Canahua, 2014)

McCormick dice que el aire que se introduce en el hormigón "aire incluido" es principalmente para mejorar las características de durabilidad, mientras que el aire (u otro gas) que se introduce en el hormigón "celular" es principalmente para reducir la densidad o mejorar las propiedades térmicas y acústicas. (McCormick, 1964) Según McCormick, se denomina “celular” a este tipo de concreto, puesto que su estructura interna se asemeja a una conglomeración de pequeñas células. Así, los términos "concretos de espuma", "concretos aireados", "concretos de gas", etc. se refieren a concretos de baja densidad que tienen una estructura interna compuesta por un gran número de pequeñas células o huecos espaciados uniformemente en toda la matriz de hormigón.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El concreto celular presenta muchos beneficios con respecto a otros materiales, pero lamentablemente es muy poco conocido en nuestro medio. Su gran uso en Europa, EE. UU. y en algunos países de América Latina, como México y Chile, son un claro indicador de que es un material con el que deberíamos comenzar a trabajar.

Esta investigación tiene como propósito proponer un nuevo material para la elaboración de unidades de albañilería para la ciudad de Cusco. Se pensó en el concreto celular puesto que presenta un amplio panorama de usos y beneficios. Lo que se busca es llegar a tener un óptimo diseño de mezcla tomando en cuenta el factor económico y manteniendo los estándares de calidad exigidos por las normas vigentes.

Optamos por utilizar arena de la cantera de Huasaqmayo, debido a que es un material manufacturado con poca variación granulométrica. De esta manera, disminuyen los errores entre uno y otro resultado y se mantiene un estándar de calidad. También optamos por utilizar un agente espumante de origen proteico y no uno de origen sintético. Además, los agentes espumantes de origen sintético trabajan mejor con concretos celulares de baja densidad (Medina Piza, 2014). Los espumantes de origen proteico forman una espuma mucho más estable y homogénea. De esta forma, disminuye la segregación del concreto celular y se producen menores cambios volumétricos.

Las dimensiones de las unidades de albañilería serán de 10x15x30cm. Estos valores se escogieron para que las unidades puedan ser manipuladas con una sola mano.

Este trabajo de investigación puede ser justificado desde varios aspectos. Estos aspectos tendrán un orden de mayor a menor importancia según el criterio adoptado.

El peso de una unidad de albañilería es un aspecto que no puede pasar desapercibido mientras cumpla con los requisitos de resistencia dados por las normas vigentes. Entre menor sea el peso, más fácil será el transporte, la manipulación y el asentado de las unidades. También tiene una gran ventaja en el diseño de estructuras, ya que entre menor sea la carga, más económica será la estructura.

Por ejemplo, el peso de un ladrillo corriente es de 7.65 kg según la Norma EM. 110 para unas dimensiones de 20x15x10cm. Los pesos de un bloque con las mismas dimensiones de concreto celular de densidades de 1280 kg/m³, 1080 kg/m³ y 800 kg/m³ son, según el ACI 523.3R-14, de 5.76 kg, 4.86 kg y 3.60 kg respectivamente. A su vez, estos pesos representarían el 75.29 %, 63.53 % y el 47.06 % del peso de un ladrillo corriente. Esto muestra una considerable ventaja del concreto celular frente a unidades de albañilería de uso corriente.

El aislamiento térmico es una de las características más significativas del concreto celular y por la cual este material es muy utilizado, sobre todo en países con cambios de temperatura extremos durante todo el año. En nuestro país, sobre todo en la cordillera de los Andes, el concreto celular debería ser tomado en cuenta en la construcción de viviendas porque, en invierno, las diferencias de temperatura entre el día y la noche son pronunciadas.

Los materiales térmicamente aislantes tienen la gran ventaja de mantener una habitación con una temperatura constante sin necesidad de calentar o enfriar esta misma gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica. Esto se traduce en un ahorro energético importante.

Si comparamos los coeficientes de conductividad térmica k de un ladrillo corriente y de bloques de concreto celular, podemos ver que, el k del ladrillo es 0.84, según la Norma EM. 110, y del concreto celular para densidades de 1280 kg/m³, 1080 kg/m³ y 800 kg/m³ es de 0.4, 0.3 y 0.2 respectivamente según el ACI 523.3R-14. En porcentajes, esto representaría un 52.38 %, 64.29 % y 76.19 % superior del k de un ladrillo corriente.

Además, tiene una muy buena resistencia al fuego, lo que brinda una protección adicional a las viviendas que constantemente se encuentran expuestas a incendios en la cordillera.

Después del aislamiento térmico, el aislamiento acústico es muy significativo en cuanto a sus propiedades principales. La ventaja del concreto celular es que puede ser utilizado en una gran cantidad de partes en una misma edificación, como en la tabiquería, los falso pisos, los contra pisos, como elemento aligerado para losas. Todas estas aplicaciones utilizadas al mismo tiempo proporcionan una enorme ventaja si hablamos de aislamiento acústico.

En cuanto al aspecto económico, se tomaron tres diferentes fuentes, (Izquierdo Cárdenas & Ortega Rivera, 2017), (Rojas Alaya, Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural, 2020) y (Zamora Terrones, 2015). Izquierdo Cárdenas y Ortega Rivera comparan el costo de un muro de ladrillo pandereta de soga con uno de bloques de concreto celular; concluyen que el segundo es un 3.55 % más barato que el primero. Rojas Alaya hace una comparación similar, pero con ladrillos King Kong de 18 huecos; su cálculo muestra que el muro de bloques de concreto ligero es 31.09 % más barato que un muro hecho con ladrillos KK. Finalmente, Zamora Terrones hace un comparativo similar entre un muro de ladrillos KK y un muro de bloques de concreto celular; concluye que el segundo es 24.56 % más barato que el primero. Todo esto muestra lo muy competitivo que son los bloques de concreto celular en el mercado de las unidades de albañilería.

La elaboración de estos bloques es relativamente sencilla. Los equipos necesarios para la fabricación del concreto celular son bastante accesibles y de fácil manipulación. Estos equipos son: una máquina generadora de espuma, una mezcladora para concreto celular y una bomba para concreto celular. Los moldes en los que se vierte la mezcla pueden tener una amplia variación dimensional que dependerá del uso que se le dará a la unidad de albañilería.

Por ser un material completamente nuevo en la región, representa una gran posibilidad económica para mucha gente. De esta manera, se abriría un nuevo sector económico y se generarían nuevos puestos laborales.

Por todos los motivos mencionados, consideramos que el trabajo de investigación presenta una justificación sólida. De igual modo, podemos asegurar que el trabajo realizado tiene aplicaciones concretas que pueden llevarse a cabo en nuestra ciudad.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Problema general

PG: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de bloques, la compresión axial de pilas y la compresión diagonal de muretes de albañilería de bloques de concreto celular de 1120kg/m³ y 1280kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³ con agregados de la cantera Huasaqmayo - Cusco – 2023?

3.2. Problemas específicos

PE01: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de bloques de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³?

PE02: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de bloques de albañilería de concreto celular con relaciones agua/cemento de 0.55 y 0.45 respecto al patrón con relación agua/cemento de 0.65?

PE03: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de pilas de bloques de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³?

PE04: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloques de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³?

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Objetivo general

OG: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes de albañilería de bloques de concreto celular de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³ con agregados de la cantera Huasaqmayo - Cusco - 2023.

4.2. Objetivos específicos

OE01: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión de bloques de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

OE02: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión axial de bloques de concreto celular con relaciones agua/cemento de 0.55 y 0.45 respecto al patrón con relación agua/cemento de 0.65.

OE03: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión de pilas de bloques de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

OE04: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión diagonal de muretes de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Normas

El presente trabajo de investigación basa sus ensayos en normas nacionales y extranjeras, como las que ofrecen las NTP, el ACI y el ASTM para obtener resultados que cumplan nuestras normas nacionales. Estas son las normas que serán usadas:

- ACI CT-13 “ACI Concrete Terminology”. Esta norma será usada para referir términos específicos referentes al concreto celular y sus componentes.
- ACI 523.3R-14 “Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)”. Es una excelente guía para la elaboración de concreto celular. Esta será nuestra principal referencia a la hora de realizar los diseños de mezcla para cada densidad.
- Norma E.060 “Concreto Armado”. Esta norma será usada para definiciones y conceptos prácticos.
- NTP 400.011 “AGREGADOS, Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos”. Esta norma será utilizada para definiciones y conceptos prácticos.
- Norma E.070 “Albañilería”. Esta norma será utilizada para los estándares mínimos de resistencia a la que deben llegar nuestros bloques de concreto celular.
- NTP 399.600 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos”. Esta norma se usará como apoyo a la par con la Norma E.070.
- NTP 399.604 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”. Se usará esta norma para definir parte de los ensayos y de qué manera se efectuarán los muestreos.

5.2. Antecedentes Nacionales

La tesis “Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural” (Rojas Alaya, 2020), de la Universidad Nacional de Ingeniería, tuvo como objetivo dar una alternativa de reemplazo de unidades de albañilería no estructural tradicional por bloques de concreto ligero utilizando aditivos espumantes. El autor buscó la densidad adecuada para llegar a lo mínimo requerido por la NTP 399.600 con una resistencia a la compresión por unidad individual de 3.45 MP. Elaboró 144 cubos de 10x10x10cm, 20 bloques de 39x9x19 cm, 3 pilas, 3 muretes y 10 probetas. De este modo, tuvo una cantidad total de 194 especímenes fabricados. Y llegó a la conclusión que, con los agregados con los que estaba trabajando, debía utilizar una densidad de 1400 kg/m³ puesto que daba un 13 % de margen de seguridad con respecto a lo mínimo exigido por la NTP 399.600. La cantidad de cemento utilizado para este diseño fue de 384.26 kg. Una de las recomendaciones que se ve por conveniente resaltar es el tiempo de mezclado del concreto celular. La densidad y la cantidad de espuma están directamente relacionadas con el tiempo de mezclado.

La tesis “Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones” (Izquierdo Cárdenas & Ortega Rivera, 2017), de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, tuvo como objetivo principal ofrecer una alternativa a la gama de bloques macizos prefabricados utilizados en tabiquería. Esto se llevó a cabo describiendo y analizando las características físicas y mecánicas de bloques de concreto celular con un aditivo espumante. Trabajó con un total de 20 unidades. Como conclusión principal de su investigación, los autores proponen una cantidad de cemento de 450 kg por

metro cúbico para asegurar una resistencia mínima de 40 kg/cm² para un concreto celular con densidad de 1000 kg/m³. En sus recomendaciones, hacen énfasis en que el aditivo espumante MasterCell 10 tiene superplastificante. El espumante que será utilizado en nuestra investigación no tiene ningún plastificante; por ello, se le añadirá un plastificante en diferentes proporciones.

La tesis “Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural” (Zamora Terrones, 2015), de la Universidad Nacional de Cajamarca, tuvo como objetivo central elaborar un bloque de concreto celular que cumpla con todos los requisitos especificados en la Norma Técnica Peruana para ser usado como unidad de albañilería no portante. Trabajó con un total de 204 especímenes, 144 cubos de 10x10x10cm y 60 bloques de 9x19x39cm. Se destacó como útil para la investigación que el contenido de aire incorporado con la espuma fue de 49 %, 44 % y 33 % para las densidades de 1000 kg/m³, 1200 kg/m³ y 1400 kg/m³. Su diseño de mezclas definitivo tuvo una densidad de 1400 kg/m³, con una cantidad de cemento de 384.32 kg/m³ y una resistencia de 71.55 kg/cm² a los 28 días. Recomienda realizar una investigación de concreto celular con aditivo espumante de origen proteico y un generador de espuma.

Los objetivos de la tesis titulada “Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones” (Lazo Arraya, 2017), de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, buscó determinar de manera cualitativa y cuantitativa la disminución del peso unitario que produce el espumante. Asimismo, buscó comparar los costos del concreto celular con respecto al concreto convencional. Lazo Arraya no especifica la cantidad de muestras con las que trabajó, pero por la cantidad de roturas que realizó, podemos concluir que elaboró 30 probetas de concreto celular. El contenido de cemento utilizado en su investigación para densidades de entre 1300 kg/m³ y 1800 kg/m³ fue entre 400 a 480 kilogramos por metro cúbico. De igual manera, fue de 29 % a 36 % para las densidades de 1800 kg/m³ y 1300 kg/m³.

5.3. Antecedentes Internacionales

La tesis “comparación y elaboración de un bloque celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional” (Tuhesman, 2017) de Ecuador, tiene como objetivo general comparar la resistencia de un bloque convencional con un bloque de concreto celular elaborado con polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno. De esta investigación, podemos resaltar las densidades con las que se trabajaron y los esfuerzos de compresión a los que se llegaron. Para sus diseños con polvo de aluminio, la resistencia a la compresión máxima a la que llegó el autor fue de 22 kg/cm² para una densidad de 876 kg/m³; y para su diseño con peróxido de hidrógeno, llegó a una resistencia a la compresión de 21 kg/cm² para una densidad de 880 kg/m³. El autor ensayó a compresión 81 bloques con polvo de aluminio, 81 bloques con peróxido de hidrógeno y 27 bloques convencionales de concreto, dando un total de 189 bloques ensayados a compresión.

La revista científica NEXO de Nicaragua publicó un artículo llamado “Concreto celular con espuma preformada y agregados ligeros” (Martínez Canales, F. Hernández, & Meneses Meneses, 2023). Realizaron seis diseños de mezcla para concreto celular con cal, piedra pómez, fibra de polietileno y espuma preformada. El primer diseño (M1) tuvo una densidad de 903 kg/m³ con una cantidad de cemento de 385 kg/m³, una relación de A/C de 0.46 y obtuvieron una resistencia de 34 kg/cm². El segundo diseño (M2) tuvo una densidad de 1068 kg/m³ con una cantidad de cemento 325 kg/m³, una relación de A/C de 0.46 y obtuvieron una resistencia de 62 kg/cm². El tercer diseño (M3) tuvo una densidad de 1009 kg/m³ con una cantidad de cemento 367 kg/m³, una relación de A/C de 0.43 y obtuvieron una resistencia de 46 kg/cm². El cuarto diseño (M4) tuvo una densidad de 1621 kg/m³ con una cantidad de cemento 318 kg/m³, una relación de A/C de 0.46 y obtuvieron una resistencia de 87 kg/cm². El quinto diseño (M5) tuvo una densidad de 1429 kg/m³ con una cantidad de cemento 333 kg/m³, una relación de A/C de 0.70 y obtuvieron una resistencia de 74 kg/cm². El sexto diseño (M6)

tuvo una densidad de 1683 kg/m³ con una cantidad de cemento 373 kg/m³, una relación de A/C de 0.33 y obtuvieron una resistencia de 143 kg/cm².

Los diseños M2, M4 y M5 tenían cal en cantidades similares, y los diseños M4 y M6 contaban con superplastificante. Únicamente el diseño M5 tenía piedra pómez y el único con fibra de polietileno era el diseño M6. Se puede ver claramente que la densidad tiene un impacto en cuanto a la resistencia a la compresión. Los diseños M1 y M2 son similares en densidad, y aunque el M2 tiene menos cantidad de cemento, la cal incrementó su resistencia a la compresión significativamente. El diseño M5 y M2 tienen la misma cantidad de cemento y cal; pero, aunque el M5 tienen mayor densidad, no tiene un significativo aumento en la resistencia, esto debido seguramente a la mayor relación de A/C y a la presencia de piedra pómez.

En conclusión, los elementos que ayudan a obtener mayores resistencias son: mayor densidad, menor relación de A/C y la adición de cal.

5.4. Bases Teóricas

5.4.1 *Cemento*

El cemento es cualquier material que puede unir partículas de agregado entre sí. (ACI CT-13, 2013)

Y el cemento hidráulico es un material aglutinante que se endurece y fija mediante una reacción química con el agua y es capaz de hacerlo bajo el agua. (ACI CT-13, 2013)

La NTP 334.009-2020 (INACAL, NTP 334.009 CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos, 2020) clasifica el cemento de la siguiente manera según el uso que se le dará:

- **Tipo I:** Para uso general que no requiere propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- **Tipo II:** Para uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo II (MH):** Para uso general, específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo III:** Para ser utilizado cuando requiere alta resistencia inicial.
- **Tipo IV:** Para usar cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Sin embargo, utilizaremos la clasificación de la NTP 334.082-2008 (INACAL, NTP 334.082 Cementos Portland, 2008), que clasifica el cemento según sus atributos, incluyendo el desarrollo de resistencias, resistencia a sulfatos, calor de hidratación y resistencia a la reacción álcali-sílice. La empresa cementera con la que se trabajará usa esa misma norma para clasificar sus tipos de cemento. Estos son:

- **Tipo GU:** Cemento Portland para construcciones generales. Usar cuando no se requieren propiedades especiales.
- **Tipo HE:** De alta resistencia inicial.
- **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.

El cemento utilizado en la investigación fue Cemento Portland Tipo HE (ver Anexo 6) y esto se debió a dos razones. En primer lugar, el cemento tipo HE es un cemento de alta resistencia inicial. Esto permitirá desmoldar los bloques de concreto celular lo antes posible disminuyendo así el riesgo de quebrar los bloques. En segundo lugar, se busca la producción masiva de concreto celular. En Cusco, las empresas capaces de producir esto masivamente compran este tipo cemento a la fecha en la que se está elaborando este trabajo.

5.4.2 Agregado Fino

El agregado fino se define como el agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la degradación natural o artificial que pasa por el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg).

Podemos clasificar las arenas en dos grandes categorías: arenas naturales y arenas manufacturadas.

Las arenas naturales solamente pasan por un proceso de tamizado posterior a su recolección. En cambio, las arenas manufacturadas son originalmente rocas que pasan por un proceso de triturado y finalmente por un tamizado.

Las arenas manufacturadas suelen presentar un porcentaje de finas superior a las naturales.

5.4.2.1 Granulometría

La granulometría representa la distribución de los tamaños que posee el agregado (INACAL, UUNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Agregados para mortero de albañilería. Requisitos, 2018)

Esta distribución se hace por medio del porcentaje de agregado que pasa por tamices de diferentes tamaños, como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 1 Gradación de arenas naturales y manufacturadas

Tamaño de tamiz	Porcentaje que pasa	
	Arena natural	Arena manufacturada
4,75 mm (N°4)	100	100
2,36 mm (N°8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (N°16)	70 a 100	70 a 100
600 µm (N°30)	40 a 75	40 a 75
300 µm (N°50)	10 a 35	20 a 40
150 µm (N°100)	2 a 15	10 a 25
75 µm (N°200)	0 a 5	0 a 100

Fuente NTP 399.607

Las arenas manufacturadas tienen una mayor permisibilidad en cuanto a los porcentajes que pasan por los tamices más finos.

Si bien la granulometría no cumple con los husos para arenas manufacturadas, se hicieron pruebas de diseños de mezcla con otros tipos de arena. Los diseños realizados con arenas de mayor agregado nominal no eran capaces de soportar el peso de las partículas más grandes, por lo que estas se asentaban. Los concretos con gradaciones más finas requerían de una mayor cantidad de cemento. Se optó por seguir haciendo uso de la arena manufacturada de Huasacmayo.

5.4.2.2 Módulo de Finura

La (INACAL, NTP 400.011 Definición y clasificación de agregados para su uso en morteros y hormigones (concretos), 2013) define el módulo de finura como el “factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de un material en una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100.”

5.4.2.3 Contenido de Humedad

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y la absorción, con todos los valores referidos a la masa de una muestra seca. (INACAL, NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado, 2013)

5.4.2.4 Material fino que pasa el tamiz N°200

Es todo el material que pasa por la malla N°200 (75- μ m) Sirve para evaluar el recubrimiento superficial que puede tener un agregado como consecuencia del material fino (INACAL, NTP 400.018 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (N°200) por lavado en agregados, 2002)

5.4.2.5 Porcentaje de Absorción

Es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un periodo de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas se le expresa como porcentaje de la masa seca. (INACAL, NTP 400. 022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del 2013 agregado fino, 2013)

5.4.3 *Concreto*

Mezcla de cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivo (Edificaciones, 2020)

5.4.3.1 Tipos de concreto por su densidad

- Concreto pesado: su densidad varía entre 2800 kg/m³ a 6000 kg/m³. Es utilizado sobre todo en construcciones que tienen como objetivo generar una protección contra la radiación.
- Concreto de peso normal: “es un concreto que tiene un peso aproximado de 2300 Kg/m³” (Edificaciones, 2020). Su uso es el más común entre los concreto, con este se realizan la mayoría de las construcciones civiles de concreto.

- Concreto liviano: “Concreto con agregado liviano... tiene una densidad de equilibrio... que no excede 1850 kg/m³” (Edificaciones, 2020)

Los concretos livianos pueden clasificarse según su tipo de elaboración, teniendo así esta clasificación:

- Concreto sin finos: Es un producto que consiste en agregado grueso, cemento hidráulico y agua con una cantidad de huecos uniformemente distribuidos en su masa (Raymundo Rivera Villareal)
- Concretos con agregados de peso ligero: Los ingenieros Marcelo Wainsztein y Washington Cano Olazábal hacen un listado de áridos livianos utilizados para este tipo de concreto: Escoria de hulla de los hornos, escoria espumosa (expandida) de alto horno, arcillas y esquistos expandidos, pizarras expandidas, cenizas sintetizadas de combustible en polvo y finalmente la piedra pómez y la lava volcánica.
- Concreto aireado o concreto celular: Según Georges Dreux y Jean Festa (1998) no se trata propiamente de hablar de hormigones, sino más bien de morteros. El mortero está constituido generalmente por una mezcla de cemento y un agregado fino (arena natural silícea o arena artificial de agregado ligero). A este mortero se le añade fluido:
 - Ya sea una sustancia generadora de gas en presencia del cemento (generalmente hidrógeno), como por ejemplo el polvo de aluminio, lo que da lugar a un hormigón-gas.
 - O un producto espumante a base de jabones o detergentes que, durante el mezclado, provoca una infinidad de pequeñas burbujas, lo que da como resultado un concreto espumado.

La densidad de los concretos celulares varía, según las composiciones, de 0.4 a 1.2, y las resistencias a la compresión son de alrededor de 0.5 a 0.8 MPa para densidades volumétricas de 400 kg/m³ y alcanzan de 4 a 5 MPa para densidades volumétricas de 1200.

5.4.4 Aditivo

Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a este antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020)

Existe una inmensa gama de aditivos para el concreto. Para fines de esta investigación, se utilizarán dos tipos de aditivo:

5.4.4.1 Aditivos Reductores de Agua

“Aditivo que aumenta el asentamiento del concreto recién mezclado, sin aumentar el contenido de agua o que mantiene el asentamiento con una cantidad reducida de agua debido a factores distintos al arrastre de aire.” (INACAL, NTP 334.088 - CEMENTOS. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones, 2021)

5.4.4.2 Agentes Espumantes

Elementos que a través de cambios físicos (proceso de agitación) forman estructuras cerradas de burbujas de aire o espuma.

El espumante utilizado en la investigación será de origen proteico. Después de realizar varios diseños previos con espumógenos tanto sintéticos como proteicos, se vio que los proteicos tienen una estructura mucho más estable y uniforme y con una mayor capacidad portante.

Los agentes espumantes de origen proteico son económicos, y generan una espuma controlable, porque no se producen reacciones químicas. Están compuestos principalmente de proteínas hidrolizadas (origen animal o vegetal), de agua (que actúa como disolvente y es un medio para la dispersión de la espuma) y de tensoactivos (que ayudan a mejorar la estabilidad de la espuma).

Para el primer paso de su fabricación, se debe elegir el tipo de proteína con la que se trabajará. En esta investigación, el espumógeno está hecho a base de sangre de animal. El segundo paso es someter a las proteínas a un proceso de hidrólisis para romper las cadenas de proteínas y así aumentar su solubilidad y capacidad de generar espuma. La hidrólisis se puede hacer por métodos químicos, usando ácidos o bases, o por medio de enzimas. Finalmente se mezclan las proteínas hidrolizadas con agua, conservantes y aditivos tensoactivos (jabones o detergentes).

En el Perú, en el periodo en el que se realizó esta investigación, solo una empresa comercializa este producto y a su vez también fabrica bloques de concreto celular, el producto se puede encontrar como “aditivo espumígeno de origen proteico”. Esta empresa se llama “Bloques Perú” y se ubica en Lima.

A demás de la fabricación de concreto celular, este aditivo tiene múltiples usos en diferentes industrias. En la cosmética se usa para la fabricación de espumas de afeitar y limpiadores faciales, en shampoos para mascotas, en extintores de incendios, para control de plagas y fabricación de fertilizantes, etc.

5.4.5 Mortero de cemento

Es la mezcla constituida por cemento, agregados predominantemente finos y agua (Edificaciones, 2020)

El concreto celular de esta investigación se hará a partir de una mezcla de mortero y agente espumante. El mortero utilizado tendrá una granulometría que evite la segregación de los agregados. Por lo tanto, el tamaño máximo nominal deberá ser el máximo que pueda quedar en suspensión sobre la espuma sin densificarse.

5.4.6 Concreto celular

El ACI define al concreto celular como “un producto de baja densidad consistente en cemento portland, cemento-sílice, pastas o pastas de cemento-puzolánico, puzolana de cal o cal-sílice, que contengan mezclas de estos ingredientes y que tengan un vacío homogéneo o estructura celular, lograda con productos químicos formadores de gases o agentes espumantes.” (ACI CT-13, 2013)

5.4.7 Unidad de albañilería

Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020)

Las unidades de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para el caso de las unidades curadas con agua, su plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020) La Norma E.070 de Albañilería clasifica las unidades de albañilería de esta manera:

TABLA 2 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN mínimo a MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	(máxima en porcentaje)				
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (20)

Fuente: Norma E.070 Albañilería

Este trabajo de investigación busca clasificar los bloques elaborados con concreto celular como un Bloque NP (Bloque No Portante) y llegar a la resistencia mínima característica a compresión axial f'_b de 20 kg/cm². De igual manera, busca cumplir con los parámetros de variación de la dimensión y el alabeo.

5.4.7.1 Definición de Albañilería

La Albañilería se define como “un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como el mortero de barro o cemento” (Bartolomé, 2018)

5.4.7.2 Clasificación de las Unidades de Albañilería

○ Clasificación por las dimensiones

La albañilería se clasificaría como (Bartolomé, 2018)

- Ladrillos, cuando se pueden manipular y asentar con una sola mano. Sus dimensiones varían suelen variar de: ancho=11 a 14cm, largo = 23 a 29cm y alto= 6 a 9cm, con un peso que va de 3 a 6kg.
- Bloques, cuando deben ser manipulados con ambas manos con dimensiones que varían de: ancho: 14 o 19cm, largo= 19 o 39cm y una altura de 19 cm, con un peso que va de 12 a 20kg.

- **Clasificación por la materia prima**

Clasificación de las unidades de albañilería (Bartolomé, 2018)

- Arcilla: pueden ser de tipo calcáreas (con un 15% de carbonato de calcio) y no calcáreas (con una predominancia de silicato de alúmina y un 5% de óxido de hierro)
- Sílice-cal: conformados por un 10% de cal hidratada normalizada y un 90% de arena (con un 75% de sílice).
- Concreto: elaborados con una mezcla de cemento, arena y confitillo para los bloques de concreto tradicionales, y cemento, arena y un agente espumante para los bloques de concreto celular.

- **Clasificación por sus huecos (alveolos)**

La albañilería se clasificaría como: (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020)

- Unidades sólidas, su sección transversal tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- Unidades huecas, su sección transversal tiene un área equivalente menos que el 70% del área bruta en el mismo plano.

5.4.7.3 Propiedades Físicas y Mecánicas

En cuanto a estas propiedades, tenemos que las propiedades de resistencia de la albañilería son:

- Resistencia a la compresión y resistencia a la tracción
- Variabilidad dimensional y alabeo
- Succión

En cuanto a las propiedades de durabilidad de la albañilería, existen las siguientes:

- Resistencia a la compresión y densidad
- Eflorescencia, absorción y coeficiente de saturación

5.4.7.4 Variabilidad Dimensional y Alabeo

Las variaciones dimensionales y el alabeo forman parte de pruebas clasificatorias que ayudan a determinar el tipo de unidad de albañilería. Los tipos de albañilería se ven en la Tabla 1.

Las deficiencias en las dimensiones y el alabeo se traducen en un mayor uso de mortero, que lleva a un mayor costo y a una pérdida de resistencia del 15% por cada 3mm adicionales de mortero (Bartolomé, 2018).

5.4.7.5 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión expresa solo la calidad de la unidad empleada, ensayada bajo las mismas condiciones (Bartolomé, 2018). Debemos tomar en cuenta que la altura de la unidad juega un papel fundamental en la resistencia a la compresión. Para dos unidades elaboradas con los mismos insumos, la unidad con mayor altura tendrá una menor resistencia que la unidad con una altura inferior.

Si lo que se busca es comparar diferentes tipos de bloques o ladrillos, las unidades deben presentar las mismas dimensiones.

Para la velocidad del ensayo, debemos “aplicar la carga hasta la mitad máxima prevista a cualquier velocidad conveniente, después ajustar los controles de la máquina para dar un recorrido uniforme del cabezal móvil tal que la carga sea aplicada en no menos de 1 minuto y no más de 2 minutos” (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002)

5.4.8 Ensayos de Compresión en Pilas

El ensayo a compresión de las pilas sirve para determinar la resistencia a la compresión axial (f_m) con respecto al área bruta de la sección transversal. (Bartolomé, 2018)

5.4.8.1 Esbeltez de la Pila

La esbeltez es la relación que existe entre la altura y el menor espesor de la sección transversal de la unidad. Al igual que los bloques, entre más alta sea la pila, menor será su resistencia. La Norma E 0.70 proporciona unos factores de corrección por esbeltez en la Tabla 10 (Tabla 33 de esta investigación). Los valores de la esbeltez en pilas suelen estar en el rango de 2 a 5.

5.4.8.2 Técnica de Ensayo

“Para prismas contruidos, aplicar la carga inicial al prisma de la mitad de la carga total esperada. Aplicar la carga remanente a una tasa uniforme en no menos de 1 y no más de 2 minutos.” (NTP 399.605 UUNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería, 2013)

5.4.8.3 Resistencia Característica a compresión axial

La resistencia se obtiene dividiendo la carga de falla entre el área bruta (sin importar que sean unidades huecas o sólidas) y se corrige por el factor de esbeltez que le corresponda a la pila.

5.4.8.4 Tipos de Falla

Se presentan varios tipos de fallas al momento de ensayar pilas a compresión:

- Falla ideal, es el tipo de falla que pasa a través de la cara de menor dimensión de la unidad y que recorre toda la pila atravesando la junta de mortero.

- Falla por trituración, es una falla de tipo explosiva que suele presentarse en unidades huecas.
- Falla por aplastamiento, es una falla localizada en la que un solo bloque falla.
- Falla por pandeo, es un tipo de falla que se presenta por un mal asentado de la pila y que presenta un alineamiento de unidades defectuoso.

5.4.9 Ensayos de Compresión de Muretes

Sirve para determinar la resistencia característica a corte puro ($v'm$) y el módulo de corte de la albañilería. (Bartolomé, 2018)

5.4.9.1 Técnica de Ensayo

“La carga se puede aplicar a cualquier velocidad conveniente hasta la mitad del valor máximo esperado, después de lo cual se ajustarán los controles del equipo de manera que el resto de la carga se aplique a una velocidad uniforme de 1 tonelada por minutos...” (NTP 399.621 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería, 2004)

5.4.9.2 Resistencia Característica a corte Puro

La $v'm$ se halla dividiendo la carga aplicada entre la diagonal por el espesor del muro. Los cálculos son iguales para unidades huecas y sólidas.

5.4.9.3 Formas de Falla

Existen 5 tipos de fallas en muretes:

- Falla por tracción diagonal, es el tipo de falla óptima que se busca en una rotura de murete. La falla atraviesa todo el murete diagonalmente atravesando las juntas de mortero.
- Falla escalonada, se presenta cuando hay una mala adherencia entre el mortero y la unidad. La falla solo pasa a través del mortero y no atraviesa los bloques.
- Falla mixta, es la mezcla de la falla por tracción diagonal y la falla escalonada. También se debe a una mala adherencia entre el mortero y la unidad.
- Falla por cizalle, se divide el muro en por una junta horizontal.
- Falla local, solo falla el bloque que está en contacto con la esquina en la que se aplica la carga.

5.4.10 Uso de ácido clorhídrico como reactivo en el concreto

El uso de ácido clorhídrico (HCl) como reactivo químico es ampliamente reconocido en diversas áreas de la ciencia, incluyendo la identificación de reacciones químicas en materiales de construcción.

El HCl reacciona con diversos componentes que pueden estar presentes en el concreto, como metales, hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, aluminio, silicatos, etc. La reacción genera efervescencia y, según el componente con el que entra en contacto, la espuma presenta un color que puede indicar con qué estaría reaccionando. El ácido también reacciona con compuestos de carbonato que podrían estar presentes en el concreto, como el carbonato de calcio (CaCO_3), liberando dióxido de carbono (CO_2) en forma de burbujas.

Se debe tener en cuenta que, para tener un control de calidad completo de cualquier material utilizado en la construcción, no solamente se deben hacer pruebas de carácter físico o mecánico, sino también de carácter químico.

Se optó por realizar una prueba preliminar de este tipo debido a la presencia de microorganismos que podrían haberse incorporado al concreto a través del uso de arena chancada de canto rodado. La presencia de microorganismos podría ser perjudicial para la salud en el momento del fraguado del concreto y durante su vida útil. Si la reacción entre el concreto y el ácido genera alguna duda acerca de la posible presencia de microorganismos, se recomendará hacer estudios más profundos, competentes al campo de la microbiología, como, por ejemplo, cultivo de microorganismos.

6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

6.1. Hipótesis General

HG: La resistencia a la compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementará un 42 % y 102 % respectivamente respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

6.2. Hipótesis Específicas

HE01: La resistencia a la compresión axial de los bloques de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementará un 42 % y un 102 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

HE02: Las relaciones agua/cemento de 0.55 y 0.45 incrementarán la resistencia a la compresión axial de bloques de concreto celular en un 10 % y 29 % en promedio respecto al patrón con una relación agua/cemento de 0.65.

HE03: La resistencia a la compresión axial de pilas de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementarán un 42 % y 102 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

HE04: La resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementarán un 42 % y 102 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³.

7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

7.1. Tipo y Diseño de la Investigación

La investigación fue de tipo experimental y posee dos etapas principales. La primera etapa consiste en realizar una serie de 27 diseños de mezcla para tres diferentes densidades, 960 kg/m³, 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³, y realizar 10 bloques para cada diseño. Estos diseños se realizarán según la guía ACI 523.3R-14. De esta manera, se pretende entender cómo varían sus propiedades en función a la variación de los factores que determinan el diseño de mezcla. Estos bloques fueron sometidos a ensayos de compresión axial. De estos diseños, se escogerán los 3 más favorables con el diseño más óptimo, y se procederá a realizar a la siguiente etapa.

En la **TABLA 3** se muestran las densidades, relaciones de arena/cemento, agua/cemento, cantidad de cemento y porcentaje de aditivo con el que se piensa elaborar la serie de 27 diseños. Esta tabla se elaboró tomando como base la guía ACI 523.3R-14, pero los diseños también tendrán o no la adición un porcentaje de aditivo plastificante para analizar si este puede contribuir positivamente con las propiedades del concreto celular.

La guía ACI 523.3R-14 propone resistencias estimadas a la compresión axial para cada densidad y toma en cuenta los siguientes factores: relación arena/cemento, relación agua/cemento y cantidad de cemento. Los porcentajes de incremento de resistencias a la compresión que proponemos en las hipótesis se basan en cálculos hallados en base a la **TABLA 6.2.1** de esta guía.

TABLA 3 Densidades, relaciones Ar/C (arena/cemento, A/C, cantidad de cemento y % de aditivo para diseños de la primera etapa

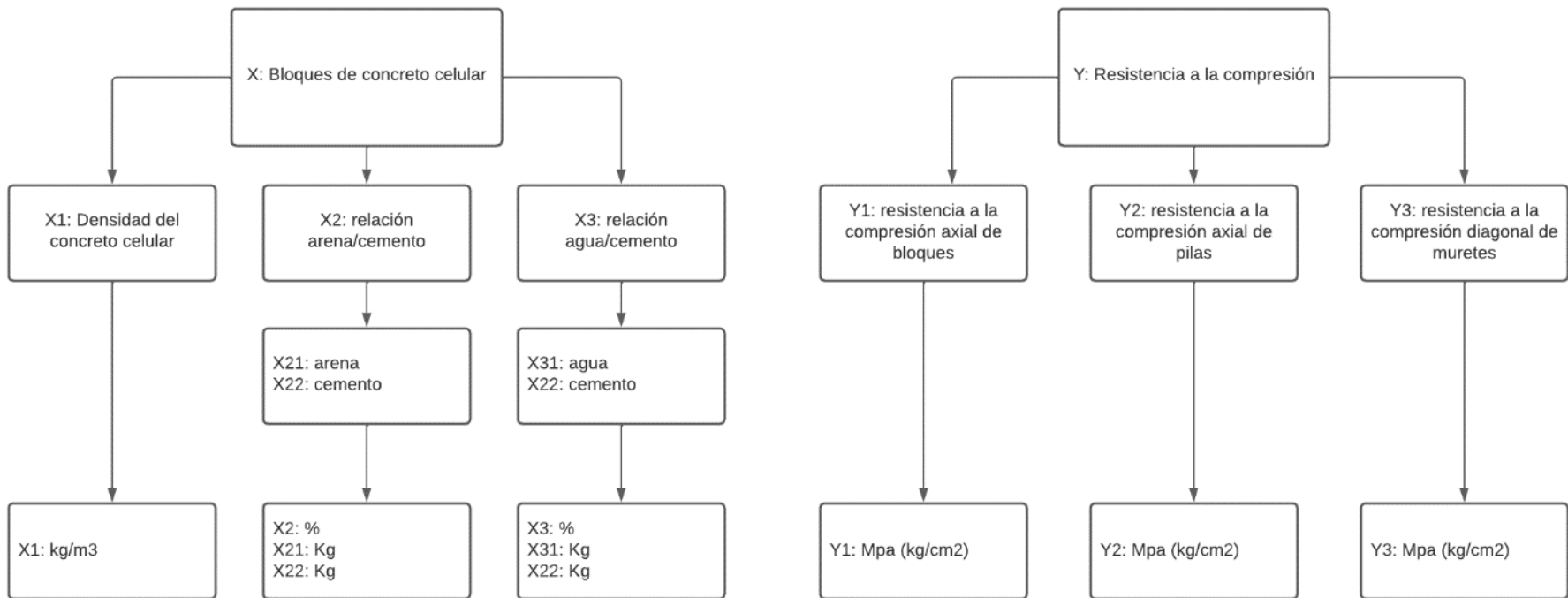
Diseño	Densidad (kg/m ³)	AR/C	A/C	%Aditivo superplastificante
A1-1	960	0.83	0.45	0
A1-2	960	0.83	0.45	0.1
A1-3	960	0.83	0.45	0.2
A2-1	960	0.83	0.55	0
A2-2	960	0.83	0.55	0.1
A2-3	960	0.83	0.55	0.2
A3-1	960	0.83	0.65	0
A3-2	960	0.83	0.65	0.1
A3-3	960	0.83	0.65	0.2
B1-1	1120	1.3	0.45	0
B1-2	1120	1.3	0.45	0.1
B1-3	1120	1.3	0.45	0.2
B2-1	1120	1.3	0.55	0
B2-2	1120	1.3	0.55	0.1
B2-3	1120	1.3	0.55	0.2
B3-1	1120	1.3	0.65	0
B3-2	1120	1.3	0.65	0.1
B3-3	1120	1.3	0.65	0.2

Diseño	Densidad (kg/m3)	AR/C	A/C	%Aditivo superplastificante
C1-1	1280	1.76	0.45	0
C1-2	1280	1.76	0.45	0.1
C1-3	1280	1.76	0.45	0.2
C2-1	1280	1.76	0.55	0
C2-2	1280	1.76	0.55	0.1
C2-3	1280	1.76	0.55	0.2
C3-1	1280	1.76	0.65	0
C3-2	1280	1.76	0.65	0.1
C3-3	1280	1.76	0.65	0.2

En la segunda etapa, se realizaron bloques, pilas y muretes de los 3 diseños seleccionados para ser ensayados a compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes. De esta manera, demostraríamos la relación que existe entre el incremento de la densidad y el aumento de la resistencia de los bloques de concreto celular.

7.2. Operacionalización de variables

Imagen 1 Operacionalización de variables



7.2.1 Variable independiente

- Bloque de concreto celular

Factores:

- Densidad del concreto celular
- Relación arena/cemento
- Relación agua/cemento

Las variables independientes tienen una repercusión directa respecto a las variables dependientes. En este caso, las densidades del concreto celular, las relaciones de arena/cemento y las relaciones de agua/cemento influyen directamente con la resistencia a la compresión, tanto a la compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes.

7.2.2 Variable dependiente

- Resistencia a la compresión

Factores:

- Resistencia a la compresión axial de bloques
- Resistencia a la compresión axial de pilas
- Resistencia a la compresión diagonal de muretes

Las variables dependientes son influenciadas por cualquier cambio que puedan sufrir las variables dependientes. En este caso, si algún factor de la variable dependiente es modificado, se verá reflejado en un cambio con respecto a cualquiera de los factores de resistencia a la compresión.

7.3. Población y Muestra

7.3.1 Población

Primera fase: Bloques de concreto celular de dimensiones 30x15x10cm elaborados con diferentes diseños, con agregados de la cantera Huasaqmayo y con cemento tipo HE.

Segunda fase: bloques de 10x15x30 cm, pilas de 30x45x10 cm y muretes de 75x75x10 cm elaborados con 3 diferentes diseños.

7.3.2 Muestra

Se consideró una muestra no probabilística intencional.

En la primera etapa, se realizarán 10 bloques de concreto celular para cada uno de los 27 diseños, y así obtendríamos un total de 270 bloques.

Para la segunda etapa, se realizarán 18 bloques para hacer los ensayos a compresión de bloques, 9 especímenes para ensayos a compresión axial de pilas y 9 especímenes para ensayos a compresión diagonal de muretes. Así se obtendría un total de 153 bloques en esta fase.

En total, para las dos fases, serán necesarios 423 bloques de concreto celular.

7.4. Primera Etapa – Elaboración de los primeros diseños de mezcla

Con todas las características previas necesarias, procedemos a la elaboración de los 27 diseños de mezclas para la primera etapa de esta investigación.

7.4.1 Propiedades de los Materiales

La arena utilizada proviene de la cantera Huasaqmayo, distrito de Caicay, provincia de Paucatambo, departamento de Cusco. Se encuentra ubicada a unos 55 minutos del centro histórico del Cusco, como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 2 Ubicación de la cantera



Fuente: Google maps

La cantera se ubica río arriba a unos 586m aproximadamente del río Vilcanota y a unos 4980 m de la desembocadura del río Huatanay, como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 3 Distancias entre el río Vilcanota y el río Huatanay



Fuente: Google earth

7.4.1.1 Granulometría de la arena

Para la granulometría, se utilizaron los husos para arenas manufacturadas según la NTP 399.607. La granulometría de la arena de Huasqmayo no entra en los límites dados por la norma, sin embargo, puede ser utilizado siempre y cuando existan estudios que aseguren que el concreto llegará a la resistencia requerida, como lo solicitado por la NTP 400.037.

Ver los resultados en Anexo 3

7.4.1.2 Módulo de Finura

La NTP 400.037 especifica que el módulo de finura debes estar comprendido entre los valores de 2,3 y 3,5

Ver resultados del módulo de finura de la arena de la cantera de Huasqmayo en Anexo 3.

7.4.1.3 Contenido de Humedad

El contenido de humedad será hallado en cada día en el que se realizarán los vaciados de concreto celular.

Ver resultados del contenido de humedad en Anexo 3.

7.4.1.4 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) por lavado

Según la NTP 400.037, el porcentaje de material fino que pasa la malla N°200 para concretos sujetos a abrasión no debe exceder el 3%. Para arenas manufacturadas, este porcentaje puede aumentar a 5% y 7%.

Ver resultados de la cantidad de material fino en Anexo 3.

7.4.1.5 Peso específico de la arena

Es la relación de la densidad de un material a la densidad del agua destilada a una temperatura indicada; los valores son adimensionales. (INACAL, NTP 400. 022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del 2013 agregado fino, 2013).

7.4.1.6 Porcentaje de absorción de la arena

El porcentaje de absorción de la arena servirá para calcular la cantidad de agua de mezclado con exactitud.

Ver resultados del porcentaje de absorción en Anexo 3.

7.4.1.7 Ensayos químicos de la arena

La arena fue sometida a los siguientes ensayos con sus respectivas normas:

- Ensayos de pérdida por sulfatos de sodio Na_2SO_4 (NTP 400.019 AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato demagnesio, 2011).
- Pérdida por sulfatos de magnesio Mg_2SO_4 (NTP 400.019 AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato demagnesio, 2011).
- Carbón y lignito (ASTM C 123: Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate, 2004).
- Contenido de sulfatos (NTP 400.042 AGREGADOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en agua para agregados en concreto, 2016).
- Contenido de cloruros (NTP 400.042 AGREGADOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en agua para agregados en concreto, 2016).
- Azul de metileno (AASHTO: T 330471 La detección cualitativa de arcillas nocivas del grupo de las esmectitas en agregados utilizando azul de metileno, 2019).
- Reactividad agregado / álcali – óxido de silicio (ASTM C289-94: Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) , 1994).
- Horsteno, determinación de partículas livianas en los agregados (ASTM C 123: Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate, 2004).

Ver Anexo 9 para los análisis completos

7.4.1.8 Densidad de la espuma

La densidad de la espuma sirve para los cálculos de los diseños de mezcla para la elaboración de concreto celular. La densidad de la espuma se calcula pesando la espuma y dividiéndola por el volumen que ocupa en un recipiente (balde).

Ver los resultados de la densidad de la espuma en Anexo 3.

7.4.2 Selección de una guía para diseños de mezcla de concreto celular

La guía seleccionada para esta investigación será la del ACI 523.3R-14 “Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)”. Esta guía proporciona una serie de pasos relativamente sencillos y de fácil aplicación.

7.4.2.1 Pasos para la elaboración de un diseño de mezclas para 1m³ de concreto celular

- Cálculo de la resistencia a la compresión teórica $f'c = 0.34 * e^{0.0022x\gamma_f}$
- Asumir una relación de agua/cemento 0.45, 0.55, 0.65
- Cálculo de la relación arena/cemento $s/c = (\gamma_f - 673)/345$
- Cálculo de la relación seca al horno $D_s = (\gamma_f - 122)$
- Cálculo del cemento requerido $C = \gamma_f / (1 + w/c + s/c)$
- Cálculo de la cantidad de arena $S = C * s/c$
- Cálculo de la cantidad de agua $W = C * w/c$
- Cálculo del volumen absoluto de sólidos

$$V_A = C / (G_c * \gamma_w) + W / (\gamma_w) + S / (G_s * \gamma_w)$$

- Cálculo del volumen absoluto de vacíos $A_V = 1 - V_A$
- Cálculo del volumen de espuma $V_F = A_V / \Phi_A$
- Cálculo de la cantidad de espuma $F = V_F * \gamma_F$
- Cálculo del agua en la arena $W_s = S * (\%H - \%Abs)$
- Cálculo del agua corregida

Agua corregida = Cantidad de agua – Agua en la espuma – Agua en la arena

- Cálculo de la cantidad de volumen requerido

Para cada diseño será necesaria una cantidad de concreto celular para 10 bloques de 10cmx15cmx30cm y con un porcentaje de pérdida del 15%. Así se obtiene un volumen total de 51.75 litros por diseño.

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la Compresión en kg/cm²

γ_f = Densidad Húmeda Requerida (kg/m³)

γ_w = Peso específico del Agua (kg/m³)

Φ_A = Rendimiento de la Espuma (%)

W = Cantidad de Agua (kg/m³)

D_s = Densidad del Concreto Celular Seca al Horno (kg/m³)

C = Cantidad de Cemento (kg/m³)

S = Cantidad de Arena (kg/m³)

V_A = Volumen Absoluto de Sólidos (m³)

A_V = Volumen de Vacíos (m³)

V_F = Volumen de Espuma (m³)

F = Cantidad de Espuma (kg)

W_s = Agua en la arena (kg)

W_s = Agua en la arena (kg)

$\%H$ = Porcentaje de Humedad de la Arena (%)

$\%Abs$ = Porcentaje de Absorción de la Arena (%)

7.4.3 Diseños de mezcla para la densidad de 960 kg/m³

TABLA 4 Diseños de mezcla para la densidad de 960 kg/m³ – Primera parte

Diseño	A/C	S/C	Vol. (lt)	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Agua en la espuma (kg)	Cantidad de espumante (gr)	Aditivo plastificante (gr)	Peso total (kg)
A1-1	0.45	0.83	49.5	20.82	6.6	17.32	2.78	55.57	0	47.52
A1-2	0.45	0.83	51.75	21.77	6.9	18.11	2.9	58.1	21.77	49.68
A1-3	0.45	0.83	51.75	21.77	6.9	18.11	2.9	58.1	43.54	49.68
A2-1	0.55	0.83	51.75	20.86	8.68	17.35	2.79	55.84	0	49.68
A2-2	0.55	0.83	51.75	20.86	8.68	17.35	2.79	55.84	20.86	49.68
A2-3	0.55	0.83	51.75	20.86	8.68	17.35	2.79	55.84	41.71	49.68
A3-1	0.65	0.83	51.75	20.02	10.33	16.65	2.69	53.77	0	49.68
A3-2	0.65	0.83	51.75	20.02	10.33	16.65	2.69	53.77	20.02	49.68
A3-3	0.65	0.83	51.75	20.02	10.33	16.65	2.69	53.77	40.03	49.68

7.4.4 Diseños de mezcla para la densidad de 1120 kg/m³

TABLA 5 Diseños de mezcla para la densidad de 1120 kg/m³ – Primera parte

Diseño	A/C	S/C	Vol. (lt)	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Agua en la espuma (kg)	Cantidad de espumante (gr)	Aditivo plastificante (gr)	Peso total (kg)
B1-1	0.45	1.29	49.50	20.19	6.63	26.16	2.47	49.32	0.00	55.44
B1-2	0.45	1.29	51.75	21.11	6.93	27.35	2.58	51.56	21.11	57.96
B1-3	0.45	1.29	51.75	21.11	6.92	27.35	2.58	51.56	42.22	57.96
B2-1	0.55	1.29	51.75	20.37	8.74	26.39	2.46	49.29	0.00	57.96
B2-2	0.55	1.29	51.75	20.37	8.74	26.39	2.46	49.29	20.37	57.96
B2-3	0.55	1.29	51.75	20.37	8.74	26.38	2.46	49.29	40.74	57.96
B3-1	0.65	1.29	51.75	19.68	10.44	25.49	2.36	47.17	0.00	57.96
B3-2	0.65	1.29	51.75	19.68	10.43	25.49	2.36	47.17	19.68	57.96
B3-3	0.65	1.29	51.75	19.68	10.43	25.49	2.36	47.17	39.35	57.96

7.4.5 Diseños de mezcla para la densidad de 1280 kg/m³

TABLA 6 Diseños de mezcla para la densidad de 1280 kg/m³ -Primera parte

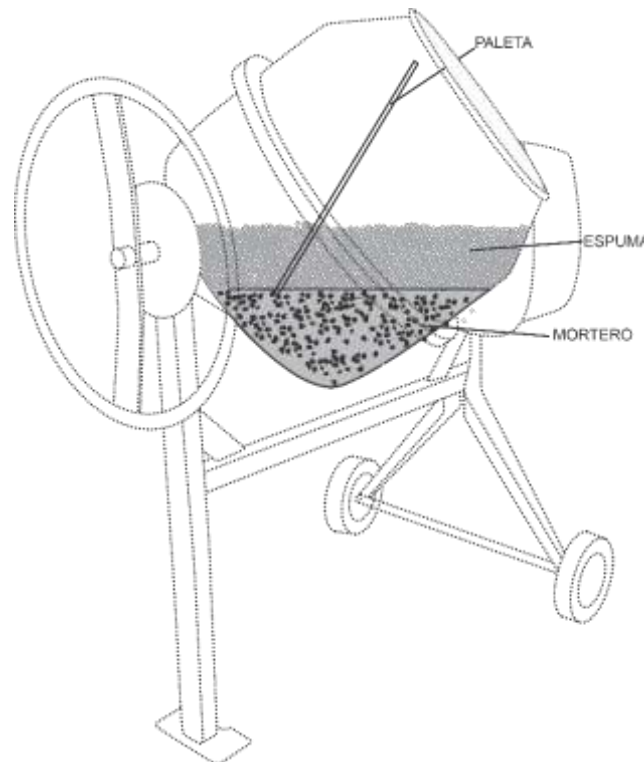
Diseño	A/C	S/C	Vol. (lt)	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Agua en la espuma (kg)	Cantidad de espumante (gr)	Aditivo plastificante (gr)	Peso total (kg)
C1-1	0.45	1.76	51.75	20.64	7.04	36.31	2.25	44.94	0.00	66.24
C1-2	0.45	1.76	51.75	20.64	7.05	36.31	2.25	44.94	20.64	66.24
C1-3	0.45	1.76	51.75	20.64	7.56	35.79	2.25	44.94	41.28	66.24
C2-1	0.55	1.76	51.75	20.02	9.46	34.64	2.13	42.66	0.00	66.24
C2-2	0.55	1.76	51.75	20.02	9.46	34.64	2.13	42.66	20.02	66.24
C2-3	0.55	1.76	51.75	20.02	9.53	34.56	2.13	42.66	40.03	66.24
C3-1	0.65	1.76	51.75	19.43	11.24	33.55	2.03	40.52	0.00	66.24
C3-2	0.65	1.76	51.75	19.43	11.20	33.58	2.03	40.52	19.43	66.24
C3-3	0.65	1.76	51.75	19.43	11.20	33.58	2.03	40.52	38.86	66.24

7.4.6 Procedimiento de mezclado

El procedimiento de mezclado de los primeros 27 diseños se realizaron en un trompo eléctrico convencional.

Los primeros 8 diseños se mezclaron de la misma forma que un concreto convencional, con el trompo inclinado a 45° . Este método de mezclado fue descartado debido a que la alta densidad del mortero y la baja densidad de la espuma hacían muy difícil el proceso de homogenización del concreto. Las paletas del trompo no mezclaban el mortero con la espuma en su totalidad. Los tiempos de mezclado eran muy largos y el rendimiento de la espuma resultaba muy bajo. La densidad se halló pesando un recipiente lleno de mezcla con volumen conocido. Las densidades no resultaban como se esperaba y la muestra extraída para el cálculo de la densidad no representaba la densidad total del diseño. La parte superior era menos densa, mientras que la inferior era más densa. La siguiente figura representa este método de mezclado.

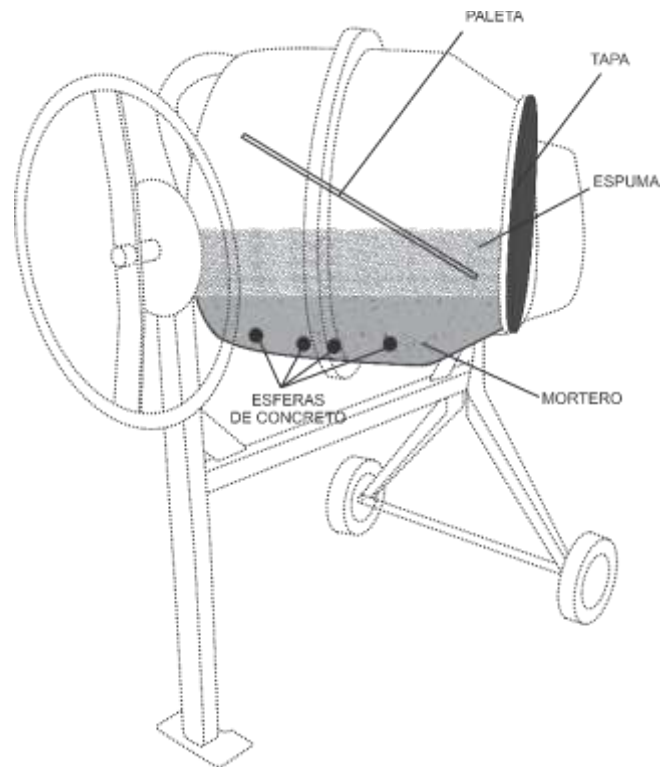
Imagen 4 Primera posición de mezclado en trompo con una inclinación de 45°



Nota: Representación de la primera posición de mezclado para la primera parte.

Después de observar este problema, los siguientes ensayos se realizaron con el trompo en una posición de 90° . Para evitar el desbordamiento de la mezcla, se colocó una tapa en la boca del trompo. Con este procedimiento, las paletas abarcaban el mezclado casi en su totalidad. También se introdujeron en el trompo unas esferas de concreto para ayudar con el mezclado del mortero. La homogeneidad fue mucho más aceptable; sin embargo, la segregación de la espuma y el mortero siempre estaba presente. La densidad se halló midiendo el volumen que abarcaría la mezcla en el trompo. Aun así, no había una homogeneidad total del concreto celular. La siguiente figura representa este método de mezclado.

Imagen 5 Segunda posición de mezclado en trompo con una inclinación de 90°



Nota: Representación de la segunda posición de mezclado para la primera parte.

7.4.7 Elaboración de bloques

Se elaboraron 90 bloques por densidad, con un total de 270 bloques para las tres densidades.

Imagen 6 Elaboración de bloques



7.4.8 Densidades de la primera etapa

Las densidades obtenidas en esta primera etapa tienen un error bastante significativo con respecto a las densidades teóricas. Esto se debe a varios factores:

- Inadecuado procedimiento de mezclado: Hacer uso del trompo para la mezcla de este tipo de concretos no es lo adecuado. La velocidad de giro y la forma de las paletas no homogenizan adecuadamente el concreto celular.
- Bajas relaciones de A/C para el mortero: Si las relaciones de A/C del concreto son muy bajas, se forman grumos o la mezcla se queda adherida a las paredes del trompo.
- Rendimiento de la espuma por debajo de lo esperado: Las bajas relaciones de A/C hacen que gran parte de la espuma se convierta en agua de mezclado y se pierde considerablemente el rendimiento de la espuma. En el siguiente cuadro veremos los valores reales de los rendimientos.

TABLA 7 Rendimientos teóricos y reales de la espuma

Densidad (kg/m ³)	Diseño	Rendimiento Teórico	Rendimiento Real
960	A1-1	95%	32.30%
	A1-2		34.50%
	A1-3		34.50%
	A2-1		50.20%
	sA2-2		45.80%
	A2-3		48.20%
	A3-1		71.90%
	A3-2		44.70%
	A3-3		71.50%
1120	B1-1	95%	36.20%
	B1-2		31.80%
	B1-3		33.00%
	B2-1		38.60%
	B2-2		41.70%
	B2-3		31.80%
	B3-1		45.80%
	B3-2		57.80%
	B3-3		53.90%

Densidad (kg/m3)	Diseño	Rendimiento Teórico	Rendimiento Real
1280	C1-1	95%	36.50%
	C1-2		27.90%
	C1-3		28.20%
	C2-1		41.70%
	C2-2		40.20%
	C2-3		38.60%
	C3-1		48.30%
	C3-2		42.40%
	C3-3		45.90%

Nota: *TABLA de comparación de los rendimientos teóricos con los rendimientos reales obtenidos en los diseños de la primera parte.*

- Presencia de partículas muy gruesas en el mortero: El tamaño máximo nominal de la arena es de 3/8", pero la espuma no tiene la capacidad de sostener partícula con esas dimensiones.
- Uso de aditivo superplastificante: Los aditivos superplastificantes reaccionan con el aditivo espumante, incluso si se usaron en dosis muy bajas. Esta reacción genera burbujas más grandes que no son capaces de soportar el peso de las partículas gruesas y generan una segregación.

En la siguiente tabla, se comparan las densidades frescas teóricas con las densidades frescas medidas en laboratorio.

TABLA 8 Densidades teóricas y reales del concreto celular

Densidad Teórica (kg/m3)	Diseño	Densidad Medida (kg/m3)	Error
960	A1-1	1058.4	10.30%
	A1-2	1095.5	14.10%
	A1-3	1352.5	40.90%
	A2-1	1159.4	20.80%
	A2-2	1170.7	21.90%
	A2-3	1164.2	21.30%
	A3-1	1248	30.00%
	A3-2	958.36	-0.20%
	A3-3	1011.3	5.30%

Densidad Teórica (kg/m3)	Diseño	Densidad Medida (kg/m3)	Error
1120	B1-1	1238.5	10.60%
	B1-2	1190.1	6.30%
	B1-3	1207.6	7.80%
	B2-1	1080	-3.60%
	B2-2	1247.2	11.40%
	B2-3	1208.7	7.90%
	B3-1	1209.8	8.00%
	B3-2	1166.3	4.10%
	B3-3	1195.2	6.70%
1280	C1-1	1396.8	9.10%
	C1-2	1432.8	11.90%
	C1-3	1431.2	11.80%
	C2-1	1436.8	12.20%
	C2-2	1440.6	12.50%
	C2-3	1445	12.90%
	C3-1	1515.6	18.40%
	C3-2	1348.1	5.30%
	C3-3	1487.2	16.20%

Nota: Comparación de las densidades teóricas con las reales obtenidas en la primera parte.

Para la selección de los mejores diseños, se deberán tomar en cuenta todas las observaciones tomadas en este ítem y ofrecer alternativas de solución.

7.5. Segunda Etapa – Optimización de los Diseños de Mezcla

7.5.1 Corrección de los diseños de mezcla

7.5.1.1 Trabajabilidad

Las relaciones de A/C de 0.45, 0.55 y 0.65 son la sumatoria del agua de mezclado inicial para el mortero y el agua necesaria para la elaboración de la espuma preformada. Esto genera unas bajas relaciones de A/C para el mortero, como se muestra en la tabla.

TABLA 9 Relaciones de A/C totales y relaciones de A/C del mortero

Densidad (kg/m ³)	Diseño	A/C Total	A/C Mortero
960	A1-1	0.45	0.317
	A1-2	0.45	0.317
	A1-3	0.45	0.317
	A2-1	0.55	0.416
	A2-2	0.55	0.416
	A2-3	0.55	0.416
	A3-1	0.65	0.516
	A3-2	0.65	0.516
	A3-3	0.65	0.516
1120	B1-1	0.45	0.328
	B1-2	0.45	0.328
	B1-3	0.45	0.328
	B2-1	0.55	0.429
	B2-2	0.55	0.429
	B2-3	0.55	0.429
	B3-1	0.65	0.530
	B3-2	0.65	0.530
	B3-3	0.65	0.530
1280	C1-1	0.45	0.366
	C1-2	0.45	0.366
	C1-3	0.45	0.366
	C2-1	0.55	0.472
	C2-2	0.55	0.472
	C2-3	0.55	0.472
	C3-1	0.65	0.578
	C3-2	0.65	0.578
	C3-3	0.65	0.578

La falta de trabajabilidad del mortero reduce el rendimiento de la espuma transformándola en agua de mezclado. Para incrementar el rendimiento de la espuma y mejorar la trabajabilidad del mortero, se optó por subir las relaciones A/C del mortero. Las relaciones A/C incrementarán conforme incrementen las relaciones de arena/cemento. Esto se debe a que mayor sea la cantidad de cemento, mayor será el agua de mezclado con respecto a un mortero con la misma relación A/C, pero con menor cantidad de cemento.

El aumento adicional de espuma se tradujo en un aumento de las relaciones A/C totales como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 10 Relaciones de A/C totales teóricas y relaciones A/C totales reales

Densidad (kg/m³)	Diseño	A/C Teórico	A/C Real
960	A1-1	0.45	0.72
	A1-2	0.45	0.70
	A1-3	0.45	0.70
	A2-1	0.55	0.69
	A2-2	0.55	0.71
	A2-3	0.55	0.70
	A3-1	0.65	0.71
	A3-2	0.65	0.82
	A3-3	0.65	0.71
1120	B1-1	0.45	0.68
	B1-2	0.45	0.73
	B1-3	0.45	0.69
	B2-1	0.55	0.74
	B2-2	0.55	0.72
	B2-3	0.55	0.83
	B3-1	0.65	0.81
	B3-2	0.65	0.74
	B3-3	0.65	0.76
1280	C1-1	0.45	0.65
	C1-2	0.45	0.76
	C1-3	0.45	0.74
	C2-1	0.55	0.72
	C2-2	0.55	0.73
	C2-3	0.55	0.74
	C3-1	0.65	0.79
	C3-2	0.65	0.81
	C3-3	0.65	0.80

Después de analizar los 6 últimos diseños de la primera etapa, nos dimos cuenta de que las relaciones A/C con las que era más conveniente trabajar eran bastante superiores a las planteadas anteriormente. Con estas premisas y previas pruebas de laboratorio, tenemos las siguientes relaciones de A/C para las diferentes densidades.

TABLA 11 Relaciones A/C corregidas

Densidad (kg/m³)	Diseño	A/C Total	A/C Mortero
960	CEL 1	0.72	0.58
1120	CEL 2	0.77	0.64
1280	CEL 3	0.83	0.71

Nota: Relaciones de A/C que se usarán para los diseños definitivos.

7.5.1.2 Error en la densidad fresca

Los errores al momento de obtener una densidad deseada se deben a varios factores. El principal de estos factores es el método de mezclado. El uso del trompo para este tipo de concretos con espuma preformada no es el adecuado. Las paletas solo tienen contacto con un porcentaje del total de la mezcla, mientras que el resto queda inalterado.

Como la espuma deja de agitarse, pierde consistencia y capacidad de soporte. Esta es una de las causas de su bajo rendimiento.

Por falta de elementos abrasivos, como la piedra, el mortero suele quedar adherido al trompo o, en el peor de los casos, formar grumos.

Después de analizar todas estas observaciones, se optó por hacer uso de un mezclador de mortero. La velocidad de giro y la forma de las paletas impiden la formación de grumos y proporcionan un mejor mezclado del mortero con la espuma. La mezcla se realizará en un balde de 60 litros con base plana.

Se hicieron varias pruebas y modificaciones antes de llegar a un resultado óptimo.

- Primer tipo de paleta

El mezclador de mortero que utilizamos solo tiene una dirección de giro y las paletas que se encuentran actualmente en el mercado de Cusco solo tienen una dirección. Esta dirección de giro y la forma de las paletas no mezclan bien el concreto. Empujan la mezcla hacia abajo y consolidan la parte inferior mientras que la superior no se densifica.

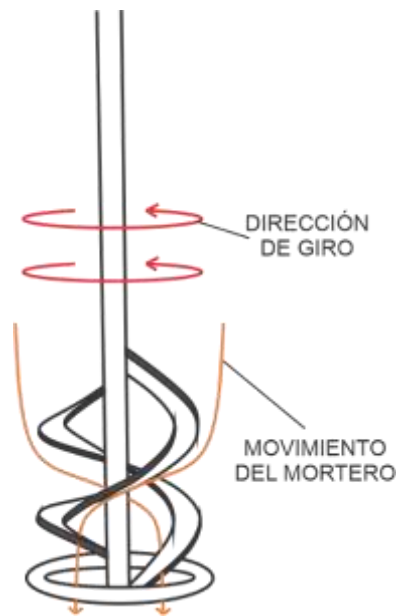
Imagen 1 Primer tipo de paleta de mezclado



Nota: Paleta con giro en sentido horario. Fuente Promart

La siguiente **Imagen** muestra con detalle este fenómeno.

Imagen 7 Movimiento del mortero a través de las paletas de mezclador de mortero



Nota: Bosquejo del flujo del mortero con la paleta en sentido horario.

- Segundo tipo de paleta

Para evitar que el fondo de la mezcla se densifique, se invirtió el sentido de las paletas para que el mortero se mezcle bien con la espuma como se muestra en la siguiente foto.

Imagen 8 Primera modificación de las paletas de mezcla



Nota: Paleta modificada con sentido antihorario.

Cuando se hicieron pruebas con esta modificación, nos dimos cuenta de que la altura de las paletas no era suficiente para mezclar el concreto desde la parte inferior hasta la superior. Por esto decidimos añadir una serie de aspas hasta alcanzar la mitad de la mezcla en el balde.

- Última modificación

Incrementamos la altura de las hélices hasta llegar a la mitad de la mezcla en el balde. El incremento de esta altura genera un vórtice en la mezcla que lleva las partículas de abajo hacia arriba y aspira las de arriba hacia abajo. Este proceso da buenos resultados con el mezclado.

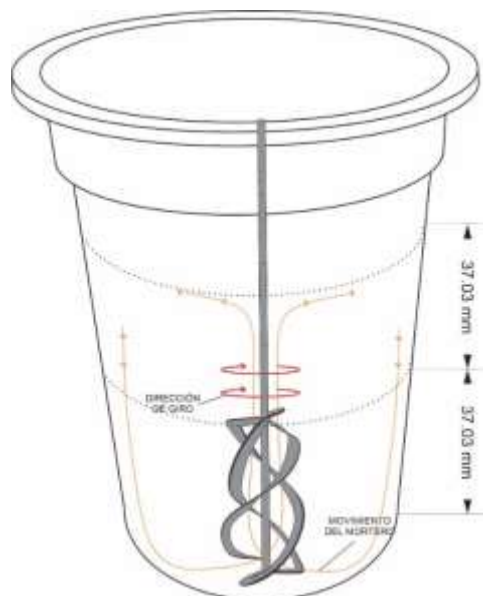
Imagen 9 Última modificación de las paletas de mezcla



Nota: Paleta modificada con sentido antihorario con aumento de tamaño.

En la siguiente **Imagen** se representa lo que ocurre durante el mezclado

Imagen 10 Comportamiento del movimiento de la mezcla con la última modificación realizada



7.5.1.3 Rendimiento de la espuma

Con el método de mezclado del trompo, el rendimiento real de la espuma preformada no es del 95% como lo planteado en los diseños de mezcla. Varía por el tipo de mezclado, la concentración de espumógeno y la relación A/C. Por esta razón fue necesario el aumento de espuma para llegar a la densidad teórica deseada. Se incrementó la concentración de espumógeno del 2% al 3%. Esto ayudó a tener una mayor estabilidad de la espuma. Esta pasó de tener una densidad de 100 kg/m³ a 120kg/m³. Por el cambio del tipo de mezclado, las relaciones A/C y la concentración de espumógeno, obtuvimos los siguientes rendimientos para la espuma después de previas pruebas.

TABLA 12 Relaciones A/C y rendimientos reales de la espuma

Densidad (kg/m³)	Diseño	A/C Total	Rendimiento
960	CEL 1	0.72	90.00%
1120	CEL 2	0.77	75.00%
1280	CEL 3	0.83	60.00%

Conforme surge un incremento en la densidad del concreto, surge un decremento en el rendimiento de la espuma. Para densidades bajas de concreto celular, existe una mayor relación de espuma-mortero. Debido a esto, el tiempo de homogenización de la mezcla y la pérdida de partículas de aire es menor con respecto a un concreto de mayor densidad.

7.6. Diseños de mezcla

Conforme a las observaciones hechas en “Análisis de los diseños”, se corrigieron los datos de entrada para los diseños de mezcla. El concentrado de aditivo espumante será de 3%, la densidad de la espuma será de 120 kg/m³. Los rendimientos de la espuma para cada densidad serán:

- 960 kg/m³: 90%
- 1120 kg/m³: 75%
- 1280 kg/m³: 60%

Las relaciones de A/C con las que se trabajarán son las siguientes:

- 960 kg/m³: 0.72
- 1120 kg/m³: 0.77
- 1280 kg/m³: 0.83

7.6.1 Datos previos para el diseño

Ver el cuadro del diseño completo en lo Anexo 5.

TABLA 13 Datos previos para las diferentes densidades

Datos	Densidad (kg/m ³)		
	960	1120	1280
Rendimiento de la espuma (%)	90	75	60
Concentrado de espumante (%)	3	3	3
Densidad de la espuma (kg/m ³)	120	120	120
Peso específico del cemento (gr/cm ³)	3	3	3
Peso específico de la arena (gr/cm ³)	2.55	2.55	2.55
Peso específico del agua (gr/cm ³)	1	1	1
Absorción de la arena (%)	3.9	3.9	3.9
Humedad de la arena (%)	3.95	1.83	3.31

7.6.2 Diseño de mezcla para 1 m³

TABLA 14 Diseño de mezclas diferentes densidades para 1 m³

Datos para 1m ³	Densidad (kg/m ³)		
	960	1120	1280
Diseño	Cel-1	Cel-2	Cel-3
Relación a/c	0.72	0.77	0.83
Relación s/c	0.83	1.3	1.76
Volumen (lt)	1000	1000	1000
Cemento (kg)	376.19	365.34	356.6
Agua (kg)	206.55	225.26	231.844
Arena (kg)	313.12	463.59	623.71
Agua en la espuma (kg)	64.14	65.82	67.84
Cantidad de espumante (gr)	1924.27	1974.51	2035.23
Peso total (kg)	960	1120	1280

TABLA 15 Diseño de mezclas diferentes densidades para 38 litros

Datos para 38 litros	Densidad (kg/m ³)		
	960	1120	1280
Diseño	Cel-1	Cel-2	Cel-3
Relación a/c	0.72	0.77	0.83
Relación s/c	0.83	1.3	1.76
Volumen (lt)	38	38	38
Cemento (kg)	14.3	13.88	13.55
Agua (kg)	7.85	8.56	8.81
Arena (kg)	11.9	17.62	23.7
Agua en la espuma (kg)	2.44	2.5	2.58
Cantidad de espumante (gr)	73.12	75.03	77.34
Peso total (kg)	36.48	42.56	48.64

7.6.3 Procedimiento de mezclado

Después de previas pruebas para obtener el adecuado diseño de mezclas para cada densidad, se procede a la elaboración de la mezcla.

Se pesa cada insumo y se coloca en el siguiente orden: primero el agua y luego la arena; se hace un pequeño batido con la mezcladora de mortero y al final se coloca el cemento y se mezcla.

La preparación de la espuma se hace en baldes separados. Se bate el espumógeno y el agua con un taladro hasta obtener la consistencia deseada.

Una vez el mortero esté listo, se vierte la espuma y se bate hasta que la mezcla esté totalmente homogénea. El tiempo varía con cada densidad.

Para el mezclado de los tres diseños, se procedió a utilizar una mezcladora de mortero y un balde de 60 lts. Se prepararon tandas de 38 lts y así hacer 8 bloques por molde con un desperdicio de 5.56%.

Imagen 11 Vertido de espuma en mezcla de mortero



La densidad se calculó midiendo el volumen de mezcla que debería entrar en el balde. Se hicieron mediciones con una escuadra constantemente durante el mezclado para controlar que la mezcla llegue exactamente al nivel correspondiente.

Imagen 12 Control del volumen con escuadra



Nota: Control del volumen con una escuadra para la medición de la densidad.

Una vez terminada la mezcla, se procede a verterla cuidadosamente en los moldes. Si se vierte con fuerza, se produce una segregación por caída. Los bloques serán desmoldados con un mínimo de 18 horas después de su vaciado. Serán posteriormente pesados y codificados para finalmente ser colocados en la poza de curado.

7.6.4 Elaboración de bloques, pilas y muretes

7.6.4.1 Bloques

Se elaboraron 80 bloques por densidad, con un total de 240 bloques para las tres densidades.

TABLA 16 Cantidad de bloques por ensayo

Densidad (kg/m ³)	Compresión axial de bloques	Compresión axial de pilas	Compresión diagonal de muretes	Total
960	6	6	38	50
1120	6	6	38	50
1280	6	6	38	50

Se hicieron 30 bloques extra por densidad para otros ensayos y pruebas de ajuste para la selección del mortero de junta.

Imagen 13 Elaboración de bloques



Para los ensayos de compresión axial de bloques, se hizo un refrentado como lo solicita la (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002) en ambos lados de los bloques, como se muestra en la siguiente imagen. Para el refrentado se utilizó yeso piedra (Tipo III) que alcanza una resistencia de 32 Mpa.

Se ensayarán 6 bloques para cada densidad.

Imagen 14 Refrentado de bloques



7.6.4.2 Selección del mortero de junta

Se hicieron varias pruebas de mortero para juntas, pero la adherencia del mortero era muy mala por las superficies lisas de los bloques, aun haciendo muescas en las caras para obtener un mayor agarre. Al final optamos por hacer uso de algún tipo de pegamento flexible, esto por dos razones:

1. La adherencia del pegamento flexible es muy buena en superficies lisas y planas.
2. El pegamento flexible permite unas juntas mucho más finas entre bloques, por lo que permite optimizar al máximo las propiedades de aislamiento térmico y acústico de los bloques. Con este tipo de mortero, podemos tener juntas desde 2mm de espesor.

Hicimos uso del pegamento flexible SikaCeram de la marca Sika. Ver características técnicas en Anexo 8.

Imagen 15 Pegamento flexible SikaCeram



Nota: Pegamento flexible para exteriores e interiores. Fuente Sikaguia.com

La resistencia del pegamento flexible alcanzó los 60kg/cm² a los 3 días. Esta resistencia supera la resistencia estimada de los bloques de concreto celular elaborados anteriormente.

7.6.4.3 Pilas

Las pilas se hicieron con dos bloques colocados uno sobre otro y con una junta de pegamento flexible. Para los ensayos a compresión axial es necesario realizar un refrentado. Al igual que los bloques, el refrentado fue hecho con Yeso piedra (Tipo III).

Se ensayarán tres pilas para cada densidad.

Imagen 16 Refrentado de bloques



7.6.4.4 Muretes

La NTP 399.621 estipula que los muretes deben tener como mínimo unas dimensiones de 600 mm x 600 mm y deben tener como mínimo dos unidades enteras por hilada. Los muretes hechos para esta investigación cumplen estas especificaciones y tienen unas dimensiones de 760 mm x 760 mm aproximadamente.

Se realizó un refrentado con Yeso piedra (Tipo III) en dos aristas opuestas del murete.
Se ensayarán 3 muretes para cada densidad.

Imagen 17 Elaboración de murete con dos unidades por hilera



Imagen 18 Refrentado de muretes



8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

8.1. Resultados - Primera Etapa

8.1.1 Pruebas de dimensionamiento

Los moldes hechos con fenólico tienen una gran resistencia a la humedad, esto es de gran ayuda para conservar las dimensiones teóricas establecidas de 10cmx15cmx30cm. Las dimensiones fueron medidas con un vernier electrónico y una wincha métrica.

Los bloques fueron concebidos para ser de tipo NP, por lo que las variaciones dimensionales deben ser de $\pm 7\%$, $\pm 6\%$ y $\pm 4\%$. Las pruebas se realizaron según la (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002)

TABLA 17 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN mínimo a MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	(máxima en porcentaje)				
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (20)

Nota: Norma E.070

8.1.1.1 Bloques de 960 kg/m³

Como se observa en la siguiente tabla, todos los diseños cumplen con las exigencias de la **TABLA 1** de la Norma E.070.

TABLA 18 Dimensionamiento de los bloques de 960 kg/m³.

Diseño	Promedio de dimensiones (cm)		
	Ancho	Largo	Altura
A1-1	10.06	30.1	15.2
A1-2	10.06	30.12	15.18
A1-3	10.07	30.1	14.88
A2-1	10.06	30.02	15.07
A2-2	10.05	30.1	15.05
A2-3	10.07	30.22	15.04
A3-1	10.04	30.14	15.07
A3-2	10.07	30.11	14.96
A3-3	10.07	30.14	15.06

8.1.1.2 Bloques de 1120 kg/m³

Como se observa en la siguiente tabla, todos los diseños pasan sin problemas por las exigencias de la **TABLA 1** de la Norma E.070.

TABLA 19 Dimensionamiento de los bloques de 1120 kg/m³.

Diseño	Promedio de dimensiones (cm)		
	Ancho	Largo	Ancho
B1-1	10.08	30.3	15.25
B1-2	10.04	30.03	15.21
B1-3	10.06	30.21	15.13
B2-1	10.06	30.2	15.24
B2-2	10.07	30.09	15.18
B2-3	10.07	30.07	15.17
B3-1	10.07	30.09	15.23
B3-2	10.08	30.27	15.1
B3-3	10.08	30.11	15.11

8.1.1.3 Bloques de 1280 kg/m³

Como se observa en la siguiente tabla, todos los diseños pasan sin problemas por las exigencias de la **TABLA 1** de la Norma E.070. Ver los resultados completos en Anexo 5

TABLA 20 Dimensionamiento de los bloques de 12800 kg/m3.

Promedio de dimensiones (cm)			
Diseño	Ancho	Largo	Ancho
C1-1	10.06	30.2	15.11
C1-2	10.07	30.19	15.25
C1-3	10.07	30.12	15.16
C2-1	10.08	30.23	15.19
C2-2	10.07	30.11	15.21
C2-3	10.07	30.31	15.16
C3-1	10.08	30.25	15.15
C3-2	10.07	30.22	15.09
C3-3	10.09	30.28	15.09

8.1.2 Ensayo de alabeo

8.1.2.1 Bloques de 960, 1120 Y 1280 kg/m3

El alabeo máximo permitido por la Norma E.070 para bloques de tipo NP es de 8mm, por lo que los bloques de 960 kg/m3 cumplen en su totalidad con esta exigencia. El ensayo se realizará con los procedimientos requeridos por la (NTP 399.163 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en abañilería, 2005). . Ver los resultados completos en Anexo 5.

TABLA 21 Alabeo para bloques de 960, 1120 y 1280 kg/m3 de densidad.

Diseño	Alabeo (mm)	Diseño	Alabeo (mm)	Diseño	Alabeo (mm)
A1-1	2.22	B1-1	1.54	C1-1	3.027
A1-2	1.89	B1-2	1.51	C1-2	1.402
A1-3	2.12	B1-3	1.26	C1-3	1.5965
A2-1	1.39	B2-1	1.84	C2-1	1.3335
A2-2	1.59	B2-2	1.52	C2-2	1.5955
A2-3	1.5	B2-3	1.64	C2-3	1.7865
A3-1	1.55	B3-1	2.42	C3-1	1.826
A3-2	2.32	B3-2	1.59	C3-2	1.664
A3-3	2.03	B3-3	1.44	C3-3	1.7675

8.1.3 Resistencia a la compresión

Los ensayos de resistencia a la compresión se llevaron a cabo a los 28 días después del vaciado de cada diseño. Los ensayos se realizarán según la (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002).

8.1.3.1 Resistencia a la compresión de bloques de 960 kg/m³

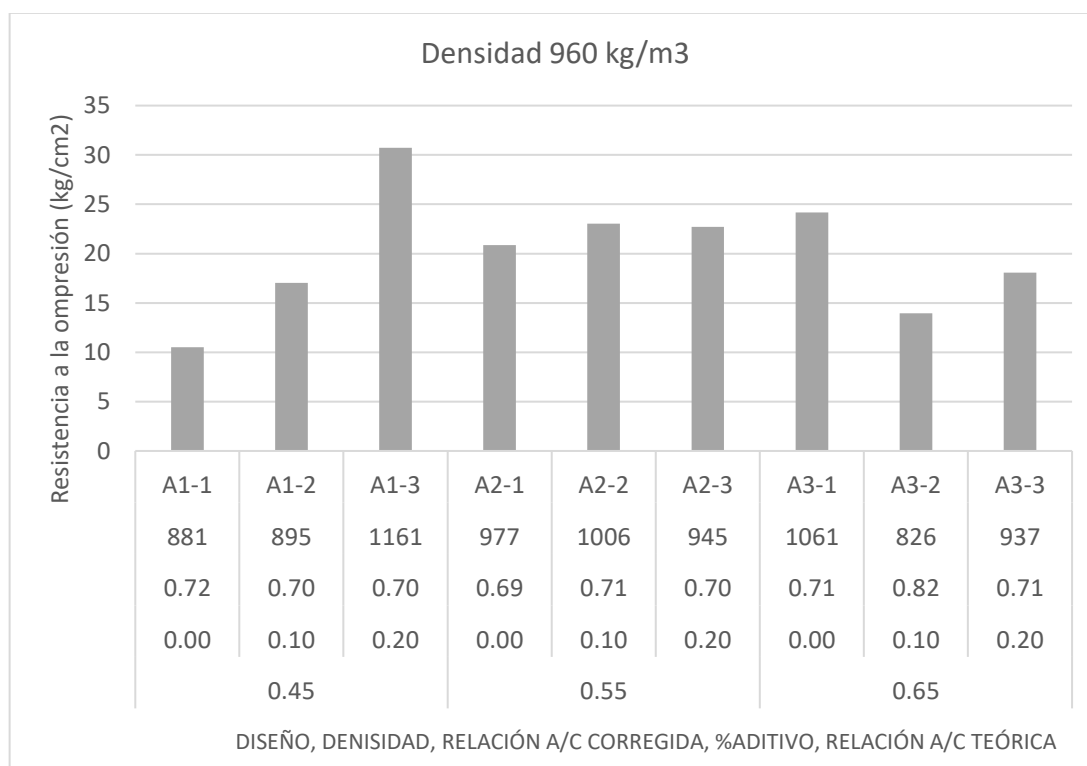
En la siguiente tabla se ven los promedios de los resultados de los ensayos a compresión de los bloques con una densidad teórica de 960 kg/m³. Ver los resultados completos en Anexo 5.

TABLA 22 Resistencia a la compresión para 960 kg/m³

Diseño	Densidad rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	Resistencia a la compresión bruta (kg/cm ²)
A1-1	893.14	3183.76	10.51
A1-2	899.00	5159.49	17.02
A1-3	1190.96	9313.46	30.74
A2-1	983.83	6296.73	20.86
A2-2	1036.23	6971.76	23.05
A2-3	966.50	6911.79	22.72
A3-1	1066.70	7322.92	24.19
A3-2	794.07	4228.97	13.95
A3-3	937.64	5483.67	18.06

En la siguiente imagen podemos notar la heterogeneidad de los diseños con respecto a su densidad objetiva de 960 kg/m³. En este caso, se puede ver que, para densidades mayores, obtenemos mayores resultados de resistencia a la compresión. Se observa también que las relaciones de A/C reales rondan el 0.70. De esos resultados, podemos concluir que este tipo de concreto con estos agregados y cemento en específico necesitan de un mínimo de agua de mezclado. Se tomará esto en cuenta en los diseños finales.

Imagen 19 Resistencia a la compresión de bloques de 960 kg/m³



Nota: Análisis gráfico de la resistencia a la compresión con respecto a las variables de los diseños para la densidad de 960 kg/m³.

8.1.3.2 Resistencia a la compresión de bloques de 1120 kg/m³

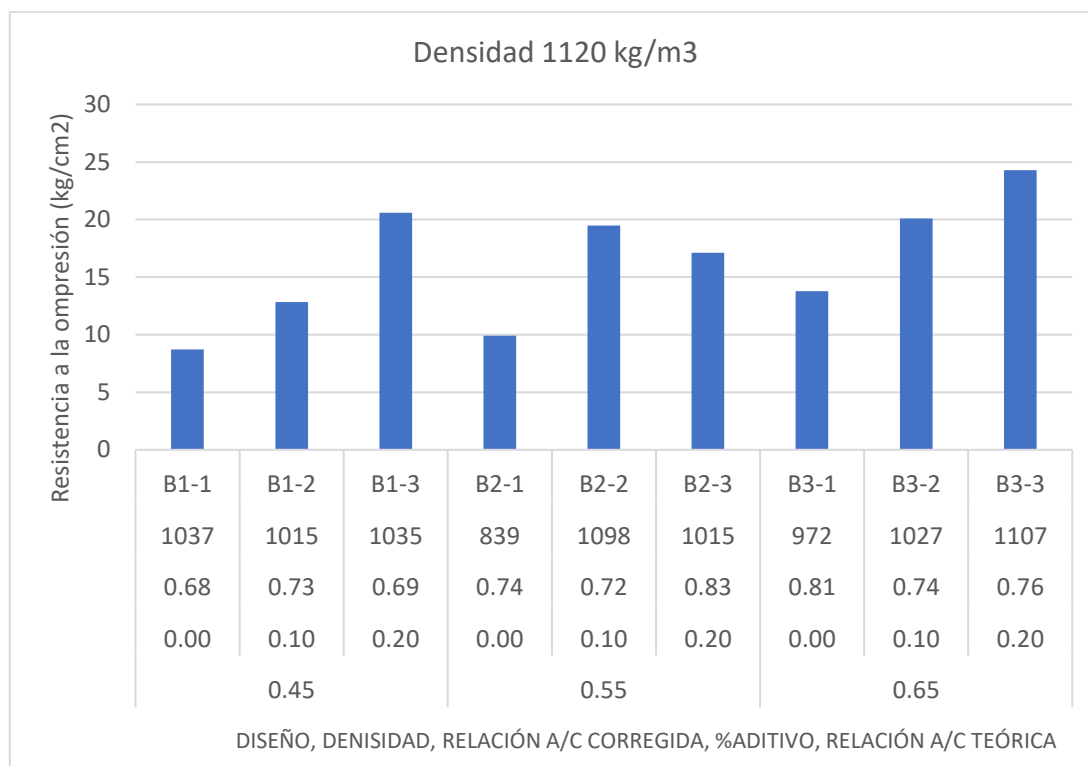
En la siguiente tabla se ven los promedios de los resultados de los ensayos a compresión de los bloques con una densidad teórica de 1120 kg/m³. Ver los resultados completos en Anexo 5.

TABLA 23 Resistencia a la compresión para 1120 kg/m³

Diseño	Densidad rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	Resistencia a la compresión bruta (kg/cm ²)
B1-1	1024.41	2660.40	8.72
B1-2	994.15	3870.88	12.84
B1-3	1024.70	6256.77	20.59
B2-1	803.85	3008.39	9.90
B2-2	1074.37	5906.30	19.48
B2-3	982.49	5186.15	17.13
B3-1	929.27	4170.75	13.77
B3-2	1006.42	6133.29	20.10
B3-3	1104.72	7371.42	24.29

Para esta densidad, se ve que el promedio de las relaciones A/C ronda por 0.74. Al igual que la densidad anterior, para esta densidad es necesaria una cantidad mínima de agua de mezclado para evitar la excesiva pérdida de en el rendimiento de la espuma.

Imagen 20 Gráfico de resistencias para los diseños de densidades de 1120 kg/m³



Nota: Gráfico de la resistencia a la compresión con respecto a las variables de los diseños para la densidad de 1120 kg/m³.

8.1.3.3 Resistencia a la compresión de bloques de 1280 kg/m³

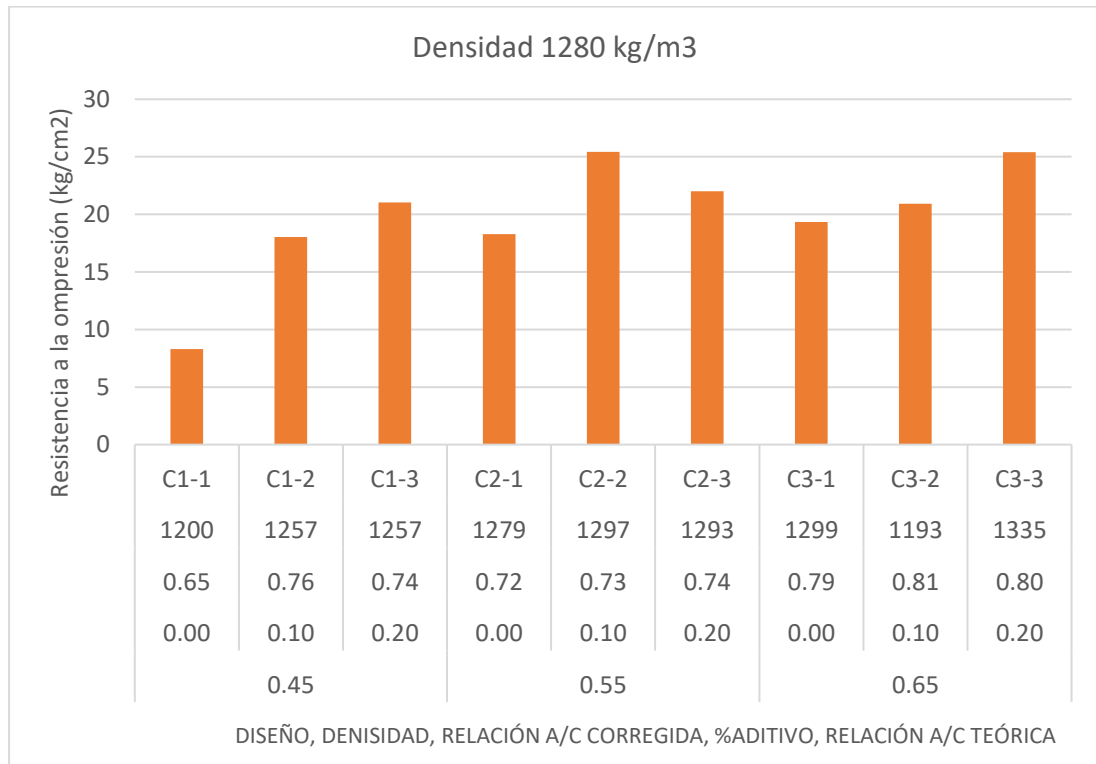
En la siguiente tabla se ven los promedios de los resultados de los ensayos a compresión de los bloques con una densidad teórica de 1280 kg/m³. Ver los resultados completos en Anexo 5.

TABLA 24 Resistencia a la compresión para 1280 kg/m³

Diseño	Densidad rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	Resistencia a la compresión bruta (kg/cm ²)
C1-1	1191.59	2518.87	8.29
C1-2	1215.38	5482.64	18.04
C1-3	1237.19	6403.94	21.11
C2-1	1243.21	7711.98	18.30
C2-2	1263.27	6718.15	25.44
C2-3	1288.58	5186.15	22.02
C3-1	1295.79	5895.94	19.34
C3-2	1159.92	6370.73	20.93
C3-3	1339.51	7757.87	25.41

Para la densidad de 1280 kg/m³, el promedio de relaciones A/C incrementa a 0.76 en promedio. Al tener una mayor relación de arena/cemento, necesita de una mayor cantidad de agua de mezclado para obtener una buena fluidez del mortero y así no tener un bajo rendimiento con la espuma.

Imagen 21 Gráfico de resistencias para los diseños de densidades de 1280 kg/m³



Nota: Análisis gráfico de la resistencia a la compresión con respecto a las variables de los diseños para la densidad de 1280 kg/m³.

8.1.4 Análisis de los diseños

Se tomaron en cuenta 6 criterios de análisis de los 27 diseños iniciales. A cada uno se le dio un rango de puntaje acorde a la importancia que vimos por conveniente:

1. Trabajabilidad visual del mortero: El proceso de mezclado en el trompo con morteros que oscilan en relaciones A/C de 0.317 a 0.578 y aditivo superplastificante de 0% a 0.2% dio una gama de trabajabilidad que se clasificó en tres:
 - Formación de grumos: Los morteros con muy bajas relaciones de agua/cemento, aun teniendo superplastificante, presentaron muy baja trabajabilidad. La formación de grumos hace casi imposible el mezclado con la espuma, esto genera una mezcla heterogénea.
 - Mortero adherido al trompo: Los morteros con relaciones de agua/cemento más altas, pero no lo suficiente como para tener morteros fluidos, se adhieren a las paredes del trompo. La única manera de mezclarlos es por medio de una intervención manual, con el uso de un cucharón o una espátula.

- Mezcla suelta: Los morteros con relaciones de A/C más altas presentan una mejor trabajabilidad y un mejor mezclado con la espuma. Sin embargo, se genera una segregación importante que se acentúa con el uso de aditivos superplastificantes.

Nota: La segregación se dio en todos los casos, esto por varias razones. La espuma no es capaz de soportar el peso de los grumos. La espuma que es introducida al trompo y deja de ser batida por medio de un batidor de altas revoluciones por minuto, pierde consistencia y no es capaz de soportar el peso del mortero en su totalidad. El aditivo superplastificante reacciona con la espuma, las esferas pasan de ser pequeñas y con un tamaño regular, a ser esferas de gran tamaño y bastante irregulares.

Imagen 22 Reacción de la espuma en contacto con el superplastificante



Nota: Formación de esferas de aire irregulares por la reacción con el aditivo espumógeno.

2. Error con respecto a la densidad teórica: La densidad se halló de dos modos, primero se extrajo una muestra del trompo y se pesó en un recipiente con volumen conocido, pero dada la heterogeneidad de la mezcla, la densidad de la muestra extraída no correspondía a la densidad del conjunto. Luego se optó por medir el volumen del trompo e ir añadiendo espuma hasta llegar al volumen deseado. De este modo se llegaba al volumen deseado, pero la segregación siempre presente en la mezcla daba densidades fuera de la densidad teórica deseada.
3. Rendimiento de la espuma: La concentración de espumógeno recomendada por el fabricante es del 2%. Fue con esta concentración que se trabajaron los 27 diseños, pero la espuma perdía consistencia rápidamente. Por la falta de trabajabilidad del mortero, la mayor parte de la adición de espuma se convertía en agua de mezclado y se perdía. Por lo que se tenía que ir añadiendo más espuma hasta llegar al volumen deseado, pero esto ocasionó un aumento de la relación de A/C.
4. Resistencia promedio: Los resultados de la resistencia a la compresión dependieron de varios factores:
 - Si la densidad obtenida era superior a la teórica, los valores de resistencia resultaban ser mayores a los bloques con menores densidades.

- Los bloques que se vaciaron con mezclas que presentaban mayores segregaciones tenían densidades más bajas, puesto que una gran parte del mortero no se vertía en los moldes.
5. Coeficiente de variación en la resistencia: Las mezclas heterogéneas generan, al momento del vaciado, bloques con diferentes densidades. Esto se refleja en la variación de los resultados en los ensayos de resistencia a la compresión.
 6. Coeficiente de variación en la densidad: Un coeficiente bajo de variación es un indicador de una buena homogenización de la mezcla.

TABLA 25 Selección de los mejores diseños de densidad 960kg/cm3

DISEÑO	TRABAJABILIDAD					ERROR DENSIDAD FRESCA				RENDIMIENTO DE LA ESPUMA					RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm2)					COEFICIENTE DE VARACIÓN RESIS.						COEFICIENTE DE VARACIÓN DENSIDAD			TOTAL	
	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena	30-40%	20-30%	10-20%	0-10%	25-40%	40-55%	55-70%	70-85%	85-100%	0-10	10-15	15-20	20-25	25-30	15-18%	12-15%	9-12%	6-9%	3-6%	0-3%	4-6%	2-4%	0-2%		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3		
A1-1		2							4	1					1								4				1			13
A1-2		2						3		1						3								5				3	17	
A1-3		2				1				1								5			3						2		14	
A2-1			3				2				2						4				3					1			15	
A2-2			3				2				2						4							5		1			17	
A2-3			3				2				2						4					4					2		17	
A3-1				4		1						3					4			1							2		15	
A3-2					5			4			2				2							4						3	20	
A3-3					5			4				3				3					2					1			18	

Nota: Análisis de trabajabilidad, error de densidad, rendimiento de la espuma, resistencia promedio, coeficiente de variación de la resistencia y coeficiente de variación de la densidad para la selección de los mejores diseños para cada densidad.

TABLA 26 Selección de los mejores diseños de densidad 1120kg/cm3

DISEÑO	TRABAJABILIDAD					ERROR DENSIDAD FRESCA				RENDIMIENTO DE LA ESPUMA					RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm2)					COEFICIENTE DE VARACIÓN RESIS.						COEFICIENTE DE VARACIÓN DENSIDAD			TOTAL
	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena	30-40%	20-30%	10-20%	0-10%	25-40%	40-55%	55-70%	70-85%	85-100%	0-10	10-15	15-20	20-25	25-30	15-18%	12-15%	9-12%	6-9%	3-6%	0-3%	4-6%	2-4%	0-2%	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
B1-1		2						3		1					1									5			2		14
B1-1		2							4	1						2					3						2	3	15
B1-3		2							4	1							3					4					2		16
B2-1			3						4	1					1						3						2		14
B2-2			3					3			2						3					4						3	18
B2-3				4					4	1							3							5			3	20	
B3-1				4					4		2					2						4				1			17
B3-2					5				4			3						4					5				3	24	
B3-3					5				4		2							4				4					2	21	

Nota: Análisis de trabajabilidad, error de densidad, rendimiento de la espuma, resistencia promedio, coeficiente de variación de la resistencia y coeficiente de variación de la densidad para la selección de los mejores diseños para cada densidad.

TABLA 27 Selección de los mejores diseños de densidad 1280kg/cm3

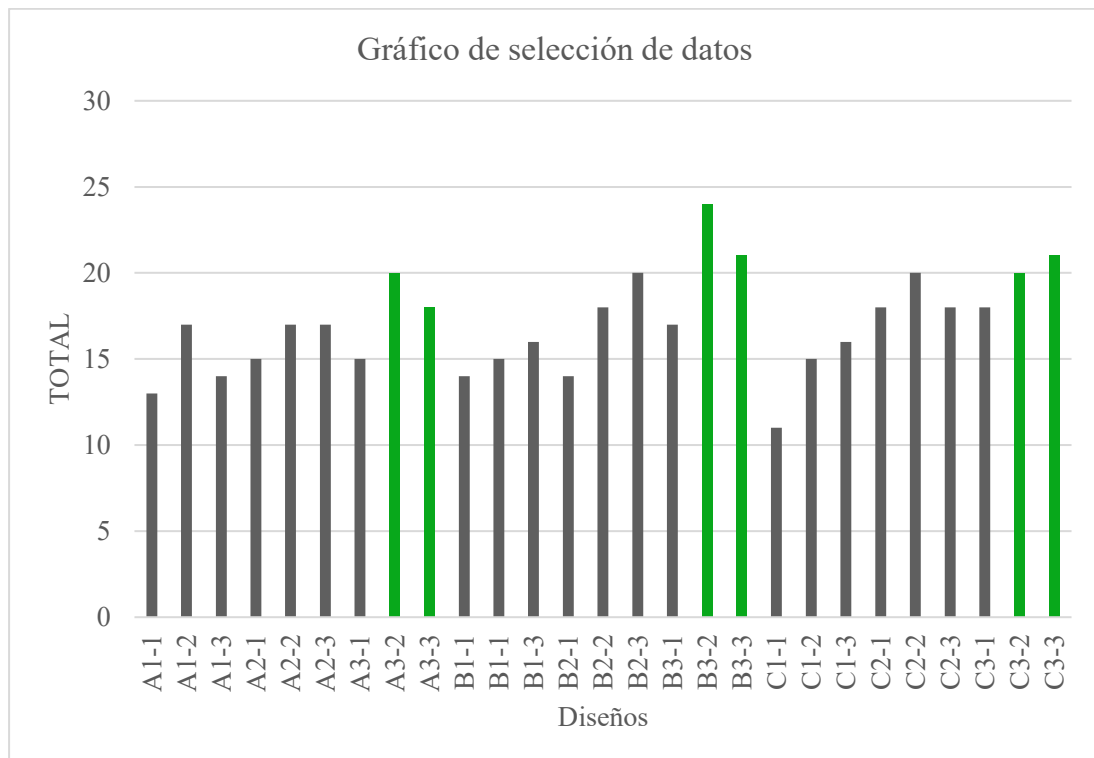
DISEÑO	TRABAJABILIDAD					ERROR DENSIDAD FRESCA				RENDIMIENTO DE LA ESPUMA					RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm2)					COEFICIENTE DE VARACIÓN RESIS.						COEFICIENTE DE VARACIÓN DENSIDAD			TOTAL		
	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena	30-40%	20-30%	10-20%	0-10%	25-40%	40-55%	55-70%	70-85%	85-100%	0-10	10-15	15-20	20-25	25-30	15-18%	12-15%	9-12%	6-9%	3-6%	0-3%	4-6%	2-4%	0-2%			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3			
C1-1	1								4	1					1																11
C1-2		2						3		1							3												3	15	
C1-3		2						3		1								4											3	16	
C2-1			3					3			2						3					4							3	18	
C2-2			3					3			2								4						5				3	20	
C2-3			3					3		1									4				4						3	18	
C3-1				4				3			2						3						4				2			18	
C3-2					5			3			2								4				4				2			20	
C3-3					5				4		2											3					2			21	

Nota: Análisis de trabajabilidad, error de densidad, rendimiento de la espuma, resistencia promedio, coeficiente de variación de la resistencia y coeficiente de variación de la densidad para la selección de los mejores diseños para cada densidad

En la tabla anterior se analizaron todos los diseños con criterios que se tomaron por observar el comportamiento de cada una de las mezclas durante el proceso de mezclado, obtención de densidades y ensayos a la compresión axial. El puntaje total tiene como base 28. De los 27 diseños, se analizarán los que tengan mayores puntajes. Este análisis permitirá perfeccionar todas las observaciones hechas en los puntos anteriores y darles solución.

Se seleccionaron para ser analizados los últimos dos diseños de cada densidad porque tienen un mayor puntaje con respecto al resto de diseños. Esto se aprecia mejor en el siguiente gráfico.

Imagen 23 Gráfico de análisis de diseños



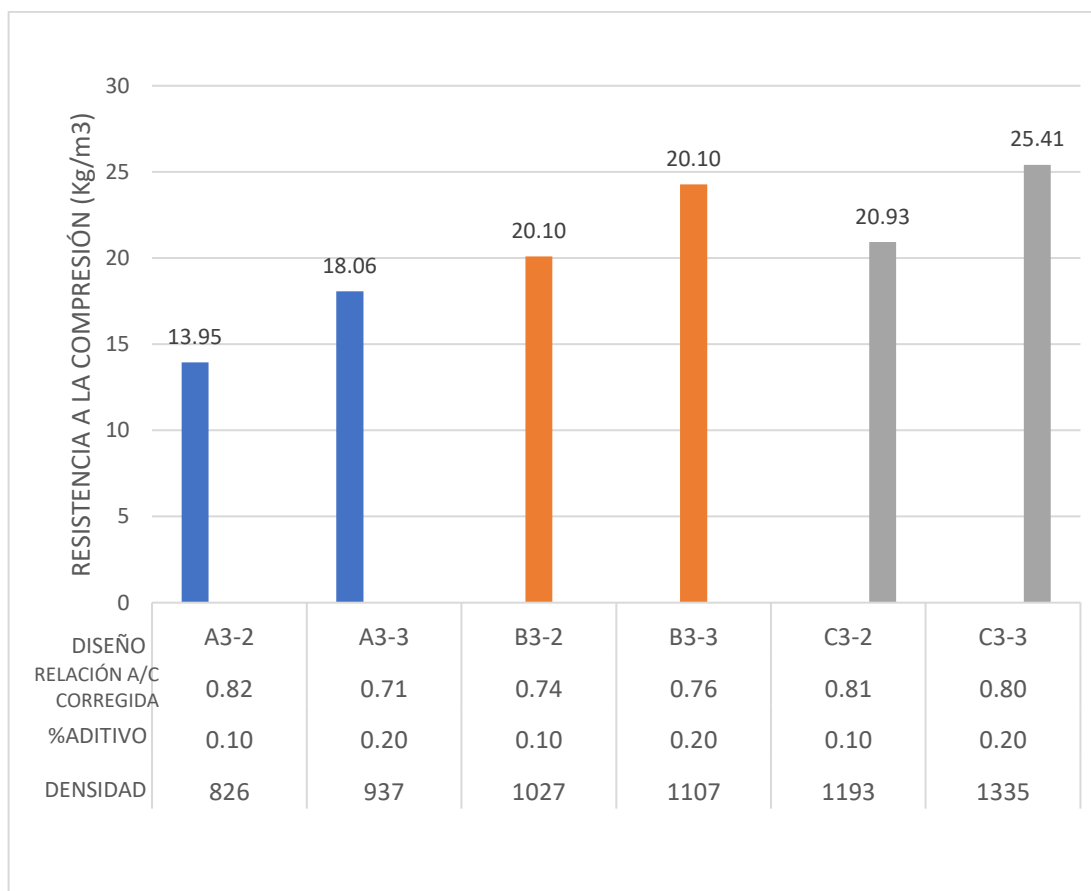
Nota: Diseños con los mejores resultados con respecto al resto de diseños.

En la siguiente imagen, analizamos punto por punto los 6 diseños y su relación con la resistencia obtenida.

- A3-2: la baja resistencia de 13.95kg/cm² se debe a un bajo rendimiento de la espuma, por ende, a un incremento de la relación A/C. Sin embargo, tuvo un buen puntaje respecto a los coeficientes de variación. Esto es debido a su alta trabajabilidad por el aumento de espuma y esto a su vez provoca una mejor homogenización de la mezcla.
- A3-3: Tuvo un mejor rendimiento con la espuma por el uso de superplastificante al 0.2%. Sin embargo, el aditivo reaccionó con el espumógeno, de este modo segregó la mezcla y al momento del vaciado, los bloques salieron con diferentes densidades y, por ende, diferentes resistencias. Obtuvo una mejor resistencia promedio por tener una mayor densidad.
- B3-2: Tuvo un rendimiento de la espuma relativamente bueno a comparación de otros diseños y tuvo el mejor puntaje en los criterios para su categoría en densidad. Pero alcanzó menores resistencias que el siguiente diseño por tener una densidad más baja.

- B3-3: Alcanzó una buena resistencia por su densidad, pero el uso de aditivo superplastificante segregó la mezcla y provocó mayores porcentajes en los coeficientes de variación.
- C3-2: Al tener una mayor relación de arena/cemento, tiene una menor cantidad de cemento y, por ende, una menor cantidad de agua de mezclado, por lo que la fluidez de la mezcla fue menor. Esto provoca un menor rendimiento de la espuma y un incremento de la relación A/C. Su menor resistencia a la compresión con respecto al siguiente diseño se debe a que posee una menor densidad.
- C3-3: Al igual que el diseño anterior, la mayor relación de arena/cemento termina provocando un incremento de la relación A/C. Tuvo un menor rendimiento en cuanto a los coeficientes de variación, pero una mejor resistencia por tener una densidad mayor.

Imagen 24 Gráfico de los diseños A3-2, A3-3, B3-2, B3-3, C3-2, C3-3



Nota: Relación de la resistencia a la compresión con respecto a los diseños seleccionados.

8.2. Resultados – Segunda Etapa

8.2.1 Pruebas de dimensionamiento

Resumen de los ensayos de dimensionamiento para cada densidad. Ver cuadros completos en Anexo 5.

Se puede observar que, en resumen, todos los bloques pasan los requisitos mínimos exigidos por la **TABLA 1** de la Norma E.070 para bloques NP cumpliendo con los parámetros de la (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002).

TABLA 28 Dimensionamiento y alabeo de bloques

Densidad (kg/m ³)	Dimensiones (cm)			Alabeo (mm)
	Largo	Ancho	Alto	
960	30.03	10.05	15.09	0.80
1120	30.15	10.07	15.15	1.24
1280	30.09	10.07	15.12	0.99

8.2.2 Resistencia a la compresión

8.2.2.1 Cálculo del área neta

La resistencia a la compresión axial de bloques debe calcularse con respecto al área neta como lo estipula la (INACAL, Norma Técnica Peruana - NTP 399.600 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos, 2017).

TABLA 29 Requisitos de resistencia para compresión axial de bloques de concreto no portante

Resistencia a la compresión respecto al Área neta promedio, mín, MPa	
Promedio de 3 unidades	4,15
Unidad individual	3,45

El área neta se calcula con las fórmulas de la norma (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002) de la siguiente manera:

$$\text{Volumen neto (Vn), cm}^3 = Wd/Dx10^6 = (Ws - Wi)x10^3$$

$$\text{Área Neta Media (An), cm}^2 = Vn/H$$

Donde:

- Wd = peso seco al horno del espécimen, kg
- Ws = peso saturado del espécimen, kg
- Wi = peso sumergido del espécimen, kg
- D = densidad seca al horno del espécimen, kg/m³
- Vn = volumen neto del espécimen, cm³
- H = altura media del espécimen, 15.0 cm
- An = área neta media del espécimen, cm²

Se utilizaron especímenes de 1/3 de largo del bloque de concreto celular de diferentes densidades, cuyas medidas fueron 10cm de largo, 10 de ancho y 15 de altura para realizar los ensayos de flotabilidad y poder calcular el área neta de los bloques. El área bruta de dichos bloques es 100cm²

Con esto, tenemos que:

TABLA 30 Calculo del Área Neta

Peso muestra seca Wd (Kg)	Peso muestra Saturado Ws (Kg)	Peso muestra sumergido Wi (Kg)	Densidad D (Kg/m³)	Volumen Neto (cm³)	Área Neta (cm²)
1.028	2.067	0.588	695.06	1479.00	98.60
0.990	2.089	0.577	654.76	1512.00	100.80
1.238	2.035	0.577	849.11	1458.00	97.20
1.312	2.168	0.631	853.61	1537.00	102.47
1.608	2.351	0.827	1055.12	1524.00	101.60
1.575	2.306	0.817	1057.76	1489.00	99.27
Promedio					99.99

El área neta promedio para los especímenes ensayados es 99.99 cm² por lo que para los cálculos de resistencia axial se utilizara el **área bruta**.

8.2.2.2 Bloques

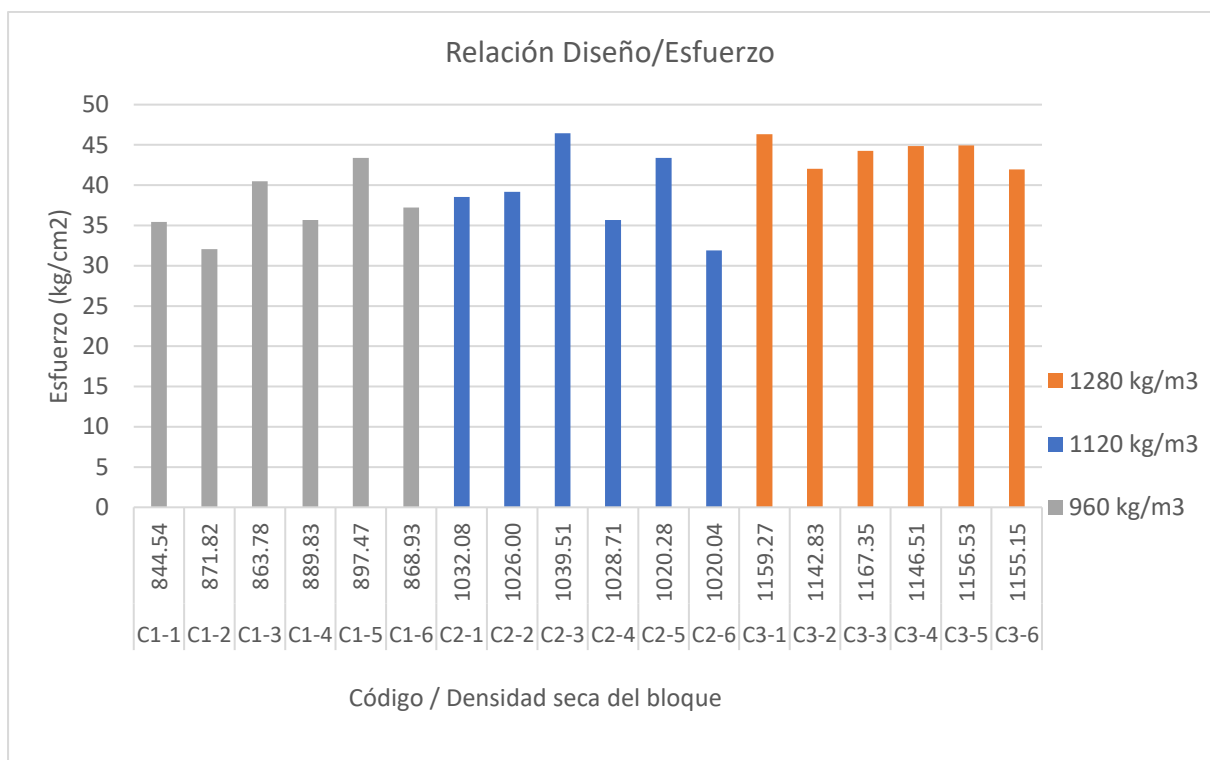
Los ensayos de resistencia a la compresión axial de bloques se realizaron con la máquina universal de ensayos conforme a lo estipulado por la (NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, 2002). Ver resultados completos en Anexo 5.

TABLA 31 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial de bloques

Densidad teórica (kg/m³)	Código	Densidad Seca (kg/m³)	Carga (kg)	Esfuerzo compresión (kg/cm²)
960	C1-1	844.54	10689.36	35.45
	C1-2	871.82	9654.26	32.05
	C1-3	863.78	12163.99	40.49
	C1-4	889.83	10736.08	35.69
	C1-5	897.47	13083.87	43.4
	C1-6	868.93	11371.56	37.22
1120	C2-1	1032.08	11761.65	38.55
	C2-2	1026	11818.8	39.16
	C2-3	1039.51	14033.24	46.44
	C2-4	1028.71	10849.02	35.69
	C2-5	1020.28	13173.23	43.39
	C2-6	1020.04	9715.49	31.88

Densidad teórica (kg/m ³)	Código	Densidad Seca (kg/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo compresión (kg/cm ²)
1280	C3-1	1159.27	13978.36	46.32
	C3-2	1142.83	12805.82	42.03
	C3-3	1167.35	13338.79	44.27
	C3-4	1146.51	13599.61	44.87
	C3-5	1156.53	13566.95	44.92
	C3-6	1155.15	12829.41	41.95

Imagen 25 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de axial de bloques con respecto al área neta

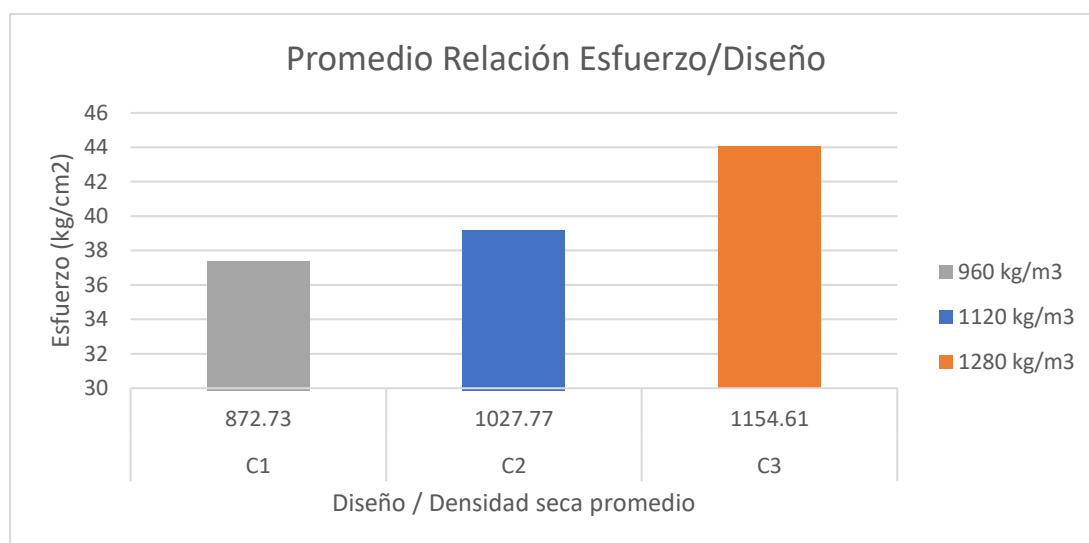


Tenemos que el incremento de resistencia a la compresión de la densidad 1120 kg/m³ con respecto a la de 960 kg/m³ es de 4.82% y el incremento de resistencia a la compresión de la densidad 1280 kg/m³ con respecto a la de 1120 kg/m³ es de 12.44%.

TABLA 32 Incrementos a la compresión axial de bloques

Densidad (kg/m ³)	Código	Densidad seca promedio (Kg/m ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo a la Compresión Axial (Kg/cm ²)	Incremento de resistencia respecto a 960 Kg/m ³	Incremento de resistencia respecto a 1120 Kg/m ³
960	C1	872.73	11283.19	37.38	-	-
1120	C2	1027.77	11891.91	39.18	4.82%	-
1280	C3	1154.61	13353.15	44.06	17.86%	12.44%

Imagen 26 Gráfico del promedio de la relación Esfuerzo/Diseño del ensayo de compresión axial de bloques



8.2.2.3 Pilas

Los ensayos de resistencia a la compresión de pilas se realizaron con la máquina universal de ensayos conforme a lo estipulado por la (NTP 399.605 UUNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería, 2013).

La resistencia a la compresión deberá ser sometida a un factor de corrección de altura/espesor, como lo muestra la siguiente tabla:

TABLA 33 Factores de corrección altura/espesor para la resistencia a la compresión

FACTORRES DE CORRECIÓN DE f'_m POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente E.070

Las pilas realizadas en esta investigación tienen una relación de altura/espesor de 3,0 por tener una altura de 30cm con un espesor de 10cm, por lo que el factor de corrección es de 0,91.

TABLA 34 Ensayos de resistencia a la compresión de pilas

Código	Densidad seca (kg/m ³)	Carga (kg)	Carga corregida (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Tipo de falla
P1-1	838.47	9393.90	8548.45	28.40	Rotura Cónica
P1-2	847.13	10000.35	9100.32	30.47	Cónico y Corte
P1-3	854.70	9913.26	9021.07	30.07	Cónico y Corte
P2-1	1001.10	11285.38	10269.69	34.01	Cónico y Dividido
P2-2	982.96	11175.61	10169.80	33.90	Cónico y Corte
P2-3	1016.36	10544.66	9595.64	31.88	Cónico y Dividido
P3-1	1130.54	11362.94	11463.84	37.90	Cónico y Corte
P3-2	1125.31	11370.20	10630.45	35.43	Rotura Semi-cónica
P3-3	1139.93	11362.94	10736.95	35.55	Cónico y Corte

Los tipos de falla se obtienen de la Figura 4 de la NTP 399.605 como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 27 Tipos de falla en pilas según la NTP 399.605

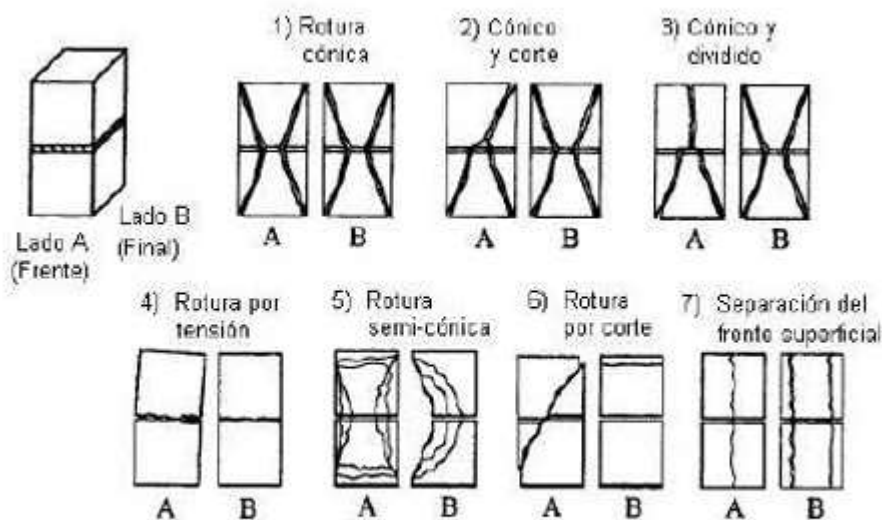
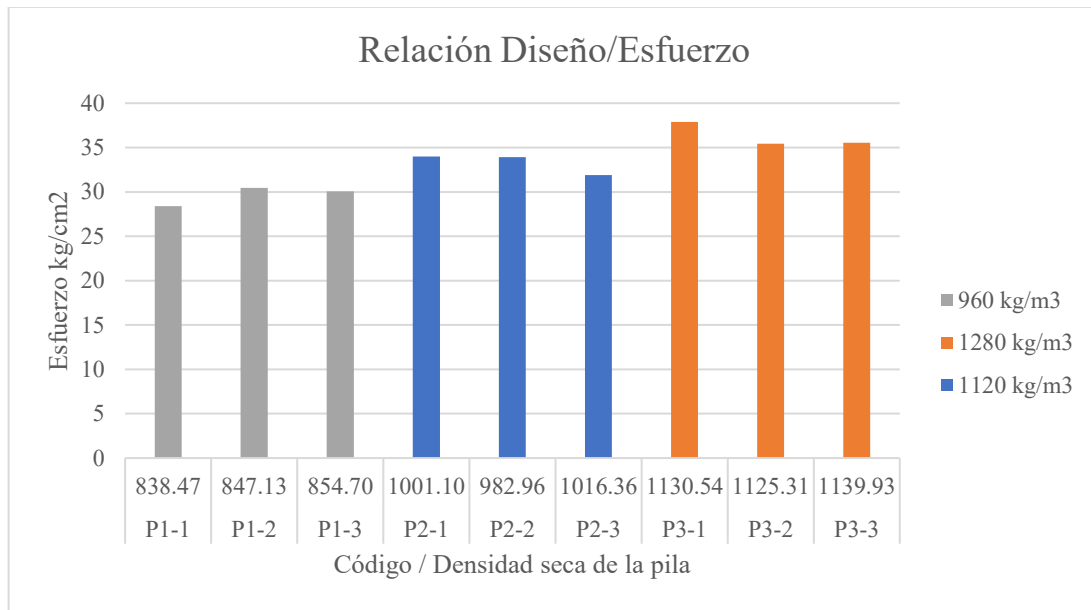


FIGURA 4 - Esquemas de modo de falla

Fuente NTP 399.605

Imagen 28 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión axial de pilas

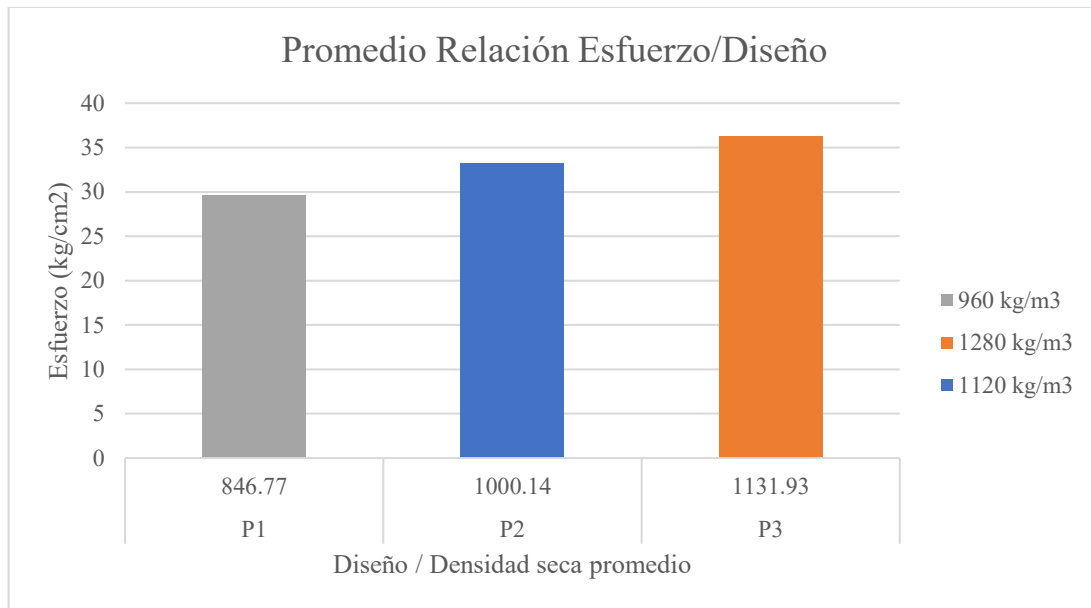


Tenemos que el incremento de resistencia a la compresión de la densidad 1120 kg/m³ con respecto a la de 960 kg/m³ es de 12.20 % y el incremento de resistencia a la compresión de la densidad 1280 kg/m³ con respecto a la de 1120 kg/m³ es de 3.13 %

TABLA 35 Incrementos a la compresión axial de pilas respecto a la densidad

Densidad (Kg/m ³)	Código	Densidad seca (Kg/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Incremento de resistencia respecto a 960 kg/m ³	Incremento de resistencia respecto a 1120 kg/m ³
960	P1	846.77	8889.94	29.65		
1120	P2	1000.14	10011.71	33.26	12.20%	
1280	P3	1131.93	12026.09	36.29	22.43%	9.12%

Imagen 29 Gráfico del promedio de la relación Esfuerzo/Diseño del ensayo de compresión axial de pilas



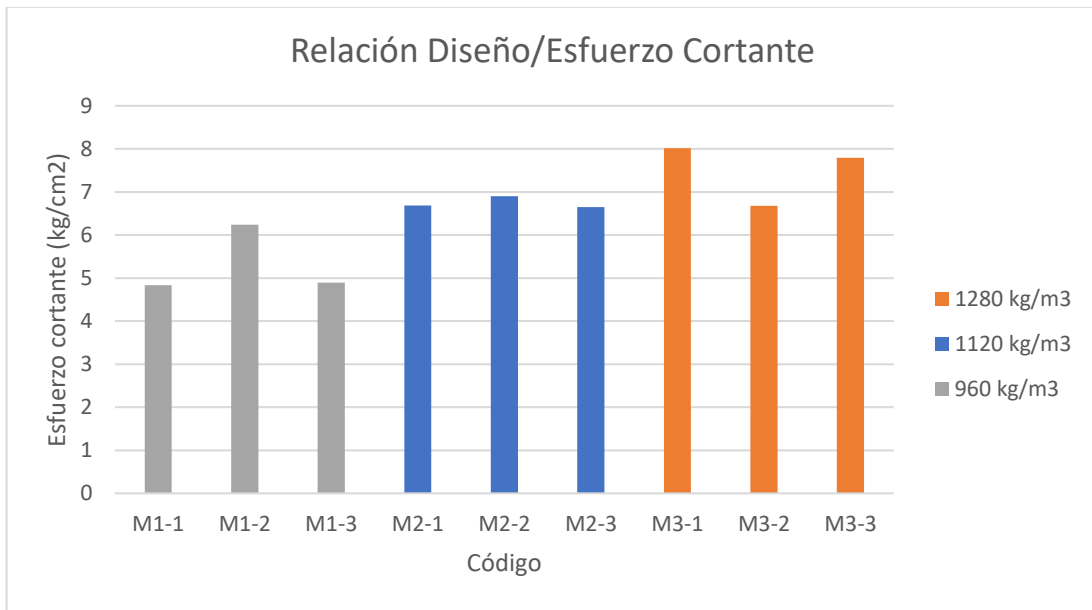
8.2.2.4 Muretes

Los ensayos de resistencia a la compresión diagonal de muretes se realizaron con el marco de carga conforme a la (NTP 399.621 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería, 2004). La descripción del tipo de falla conforme al libro “Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería” (Bartolomé, 2018).

TABLA 36 Ensayos de resistencia a la compresión diagonal de muretes

Diseño	Densidad (kg/m3)	Carga (kg)	Esfuerzo Cortante (kg/cm2)	Tipo de falla
M1-1	960	5194.05	4.83	Falla por tracción diagonal
M1-2		6705.17	6.24	Falla por tracción diagonal
M1-3		5258.70	4.89	Falla por tracción diagonal
M2-1	1120	7188.21	6.69	Falla local
M2-2		7415.00	6.90	Falla local
M2-3		7149.97	6.65	Falla local
M3-1	1280	8614.69	8.01	Falla local
M3-2		7180.15	6.68	Falla local
M3-3		8374.35	7.79	Falla local

Imagen 30 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión diagonal de muretes

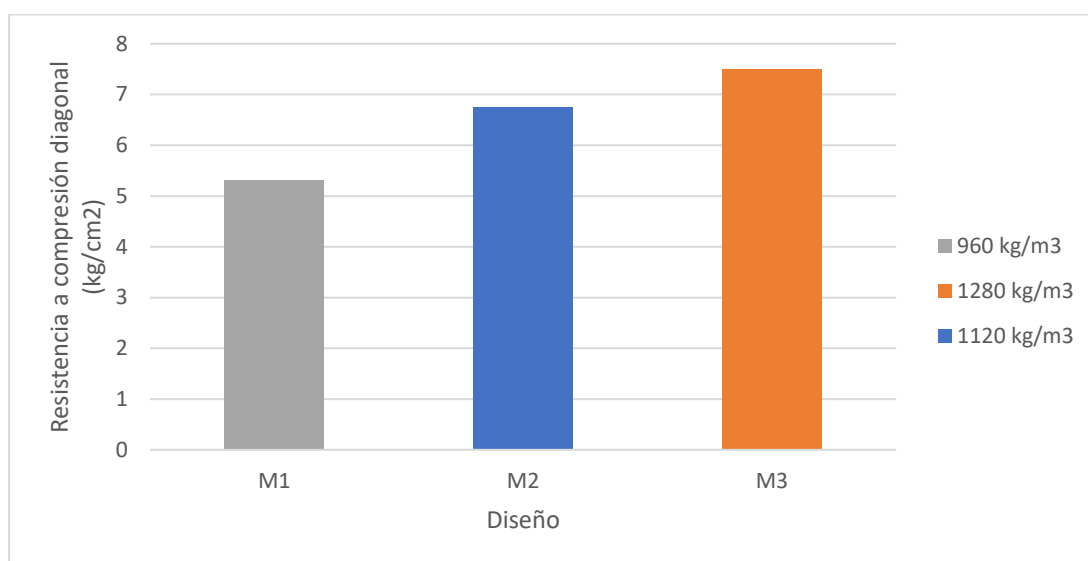


Si analizamos los promedios de los resultados obtenidos, tenemos que el incremento de resistencia a la compresión diagonal de muretes de la densidad 1120 kg/m³ con respecto a la de 960 kg/m³ es de 21.12 % y el incremento de resistencia a la compresión de la densidad 1280 kg/m³ con respecto a la de 1120 kg/m³ es de 10.00%

TABLA 37 Incrementos a la compresión diagonal de muretes respecto a la densidad

Densidad teórica (kg/m ³)	Diseño	Esfuerzo cortante	Incremento de resistencia respecto al patrón (960 kg/m ³)
960	M1	5.32	
1120	M2	6.75	21.12%
1280	M3	7.49	29.01%

Imagen 31 Gráfico del promedio de la relación Esfuerzo/Diseño del ensayo de compresión diagonal de muretes



8.2.3 Reacción con ácido clorhídrico

Para esta prueba preliminar, se utilizó un bloque de concreto celular partido por la mitad para realizar el ensayo. Se aplicaron 9 gotas de ácido clorhídrico distribuidas sobre la parte interna del bloque y 12 gotas distribuidas sobre la superficie externa (ver fotos en Anexo 6). Se aplicó HCl sobre la superficie interna partida del bloque para tener la certeza de que la prueba no se vería alterada por factores externos, como polvo o suciedad. Se aplicó posteriormente el HCl sobre la superficie externa para ver la reacción y compararla con las gotas aplicadas anteriormente. Los resultados visuales fueron muy similares.

Se observó la efervescencia y el color de la espuma. La efervescencia fue notable y la espuma mostró un tono ocre, lo que podría ser indicativo de la presencia de microorganismos.

Lo más recomendable en este caso es hacer un estudio microbiológico para ver la presencia o no de microorganismos y, si fuese el caso, ver si son perjudiciales o no para la salud. Por motivos de tiempo, no se pudo proseguir con análisis más profundos, como recurrir a un laboratorio para hacer un cultivo de microorganismos, puesto que estos tardan varias semanas.

8.3. Análisis de resultados

8.3.1 Bloques

El cuadro y el gráfico siguiente muestra el comparativo entre las resistencias teóricas de la norma (ACI 213.R-14 , 2014) y las resistencias obtenidas en los ensayos de laboratorio.

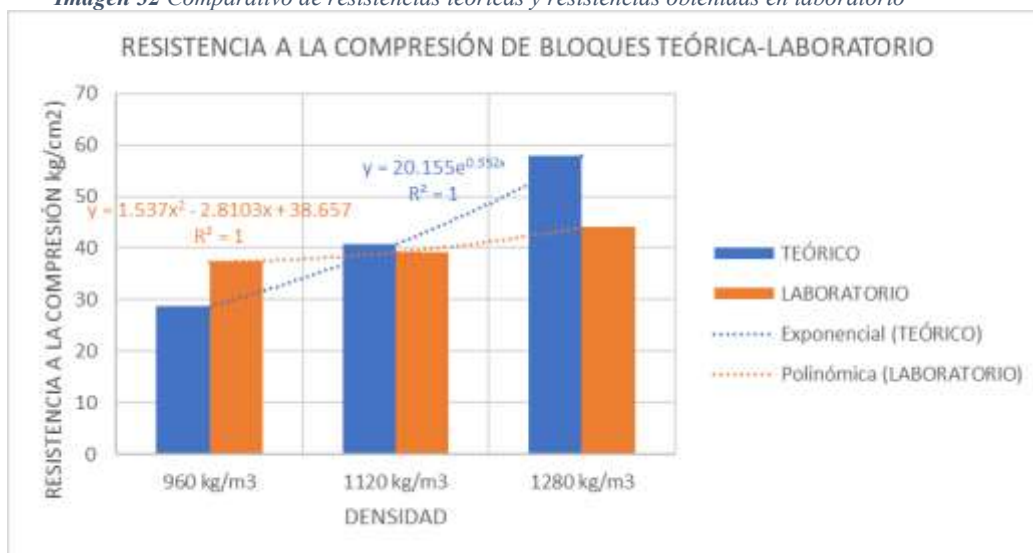
TABLA 38 Resistencias teóricas - resistencias obtenidas en laboratorio

Densidad (kg/m ³)	Resistencia teórica (kg/cm ²)	Resistencia laboratorio (kg/cm ²)	Diferencia teórico - laboratorio
960	28.66	37.38	30.43%
1120	40.75	39.18	-3.85%
1280	57.95	44.06	-23.97%

Los valores de resistencia a la compresión obtenidos para la densidad de 960 kg/m³ fueron 30.43 % superiores a los estimados teóricamente; para la densidad de 1120 kg/m³, los valores fueron un 3.85% inferiores a la resistencia estimada; y para la densidad de 1280 kg/m³, los valores fueron un 23.97% inferiores a la resistencia teórica.

En la teoría, los incrementos de la resistencia tienen una tendencia exponencial; en los resultados obtenidos en esta investigación, los incrementos de la resistencia tienen una tendencia polinómica de segundo grado.

Imagen 32 Comparativo de resistencias teóricas y resistencias obtenidas en laboratorio



En las hipótesis se estimó un incremento de la resistencia a la compresión del concreto con respecto a la densidad patrón (960 kg/m³) de 42 % para 1120 kg/m³ y 102 % para 1280 kg/m³. Sin embargo, solo se obtuvieron incrementos de 4.82 % y 17.86 % respectivamente.

TABLA 39 Incremento teórico y real de resistencia para bloques

Densidad	Incremento teórico	Incremento real
960 kg/m ³ - 1120 kg/m ³	42.00%	4.82%
960 kg/m ³ - 1280 kg/m ³	102.00%	17.86%

Podemos ver que, aunque hubo un ligero incremento de resistencia conforme se incrementó la densidad, el incremento no fue tan grande como lo esperado teóricamente. Sin embargo, la resistencia obtenida para la densidad de 960 kg/m³ fue considerablemente superior a la calculada teóricamente.

8.3.2 Pilas

En la hipótesis se estimó un incremento de la resistencia a la compresión de pilas con respecto a la densidad patrón (960 kg/m³) de 42 % para 1120 kg/m³ y 102 % para 1280 kg/m³. Sin embargo, solo se obtuvieron incrementos de 12.18 % y 22.39 % respectivamente.

TABLA 40 Incremento teórico y real de resistencia para pilas

Densidad	Incremento teórico	Incremento real
960 kg/m ³ - 1120 kg/m ³	42.00%	12.20%
960 kg/m ³ - 1280 kg/m ³	102.00%	22.43%

8.3.3 Muretes

En la hipótesis, se estimó un incremento de la resistencia a la compresión de muretes con respecto a la densidad patrón (960 kg/m³) de 42 % para 1120 kg/m³ y 102 % para 1280 kg/m³. Sin embargo, solo se obtuvieron incrementos de 26.88 % y 40.79 % respectivamente.

TABLA 41 Incremento teórico y real de resistencia para muretes

Densidad	Incremento teórico	Incremento real
960 kg/m ³ - 1120 kg/m ³	42.00%	26.88%
960 kg/m ³ - 1280 kg/m ³	102.00%	40.79%

8.4. Discusión de los Resultados

Si se discuten los resultados de la tesis “Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural” (Rojas Alaya, 2020), y se hace un paralelo con esta investigación, se puede ver que:

- Llega a la conclusión que la mejor densidad a utilizar fue de 1400 kg/m³ con una cantidad de cemento de 384.26 kg. Para nuestra investigación, los mejores resultados a la compresión se obtuvieron con 356.60 kg de cemento para una densidad de 1280 kg/m³.
- La resistencia a la compresión para la densidad de 1400 kg/m³ llegó a 47.72 kg/cm² con un margen de seguridad de 13% con respecto a lo mínimo exigido por la NTP 399.600 a los 28 días, mientras que nuestra investigación llegó a los 28 días a 42.32 kg/cm² con un margen de seguridad del 4.11%
- Podemos concluir que tuvimos mejores resultados con una menor cantidad de cemento y una menor densidad.

Después de ver los resultados de la tesis “Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones” (Izquierdo Cárdenas & Ortega Rivera, 2017), se puede ver que:

- Los autores trabajaron con una cantidad de cemento de 450 kg para una densidad de 1000 kg/m³. En la presente investigación se trabajó con 376 kg de cemento para una densidad de concreto celular de 960 kg/m³.
- Obtuvieron una resistencia de 40 kg/cm² a los 28 días, mientras que, para nuestra investigación, obtuvimos una resistencia de 37.38 kg/cm²
- En conclusión, obtuvimos una resistencia ligeramente menor, pero con una cantidad de cemento considerablemente más baja y con una menor densidad.

Los resultados de la tesis “Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no portante” (Zamora Terrones, 2015) resultan muy interesante pero un poco controversial por los siguientes puntos:

- Realizó comparativos de 3 densidades diferentes (1000 kg/m³, 1200 kg/m³ y 1400 kg/m³), para cada una de esas densidades, adicionó diferentes elementos y obtuvo un total de 12 diseños. Los diseños para cada una de las densidades fueron: con espuma, con espuma y fibra, con espuma y aditivo, y con espuma, fibra y aditivo.
- Las densidades son las misma que con las que trabajó de Rojas Alaya, pero este utilizó diferentes porcentajes de cal en vez de hacer uso de alguna fibra. Si comparamos los diseños sin fibra y sin cal, las cantidades de cemento son las misma en todas las densidades, las relaciones de A/C son muy similares, pero los resultados de resistencias a la compresión son significativamente diferentes.

Densidad (kg/m ³)	Rojas Alaya	Zamora Terrones
	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	
1000	7.34	23.16
1200	12.03	30.36
1400	40.38	53.55

Estos resultados se deben probablemente al diferente tipo de cemento, arena y espumante que se utilizaron en los dos trabajos de investigación.

La tesis de Zamora Terrones resulta un tanto controversial cuando hace uso de 500 gramos de fibra por metro cúbico de concreto para la dosificación de su diseño de 1400 kg/m³ haciendo que llegue a una resistencia de 75.32 kg/cm², sabiendo que la fibra no influye considerablemente en la resistencia a la compresión del concreto. Sería interesante realizar estudios sobre este caso.

En cuanto a los antecedentes internacionales, podemos discutir sobre los resultados de la tesis “comparación y elaboración de un bloque celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional” (Tuhesman, 2017). Tenemos que:

- Obtuvo, para una densidad de 879.62 kg/m³, una resistencia de 21.41 kg/cm² que resulta inferior a la resistencia obtenida en esta tesis, con una densidad de 872.73 kg/m³ y una resistencia de 37.38 kg/cm².

De igual modo, para la publicación sobre “Concreto celular con espuma preformada y agregados ligeros” (Martínez Canales, F. Hernández, & Meneses Meneses, 2023), podemos comparar los resultados similares que obtuvieron con respecto a nuestro trabajo:

- Para una densidad ligeramente mayor de 902.808 kg/m³, obtuvieron una resistencia de 34.45 kg/cm² y nosotros una resistencia de 37.38 kg/cm² para una densidad ligeramente menor de 872.73 kg/m³.
- Para una densidad de 1009.021 kg/m³, tuvieron una resistencia de 46.05 kg/cm², que resulta ser mayor que la resistencia que obtuvimos de 39.18 kg/cm² para una densidad de 1027.77 kg/m³
- Para una densidad de 1068.107 kg/m³, tuvieron una resistencia de 60.22 kg/cm², que resulta ser mayor que la resistencia que obtuvimos de 44.06 kg/cm² para una densidad de 1154.61 kg/m³
- Con respecto a los resultados obtenidos en nuestra investigación, podemos decir que:
 - El aditivo superplastificante que se utilizó, a base de lignosulfonatos, reaccionó negativamente con la espuma de origen proteico, generaba esferas de aire irregulares y ocasionaba un asentamiento de las partículas más grandes y pesadas, provocando una diferencia de densidades en un mismo bloque, por lo que no fue posible seguir con su uso.
 - La arena manufacturada y posteriormente tamizada de Huasaqmayo presentaba una gran cantidad de fino, si bien es cierto que tenía un comportamiento positivo con respecto a la estabilidad del concreto celular, es probable que eso haya influido con los bajos resultados de resistencia a la compresión.
 - Utilizar un trompo convencional para mezclar la espuma con el mortero resultó perjudicial. La mejor manera de mezclar el concreto fue por medio de un mezclador de mortero, que incorporaba rápidamente la espuma con el mortero y de este modo conservaba mejor el rendimiento de la espuma.
 - Los resultados fueron bastante satisfactorios para la segunda etapa después de haber optado por cambiar el método de mezclado, la proporción y el rendimiento de la espuma y los cambios en las relaciones de A/C.

9. CÁLCULO DEL COSTO DE LOS BLOQUES

Se hizo un cálculo sencillo sobre el costo de los bloques según su densidad y se tomó únicamente en cuenta el costo de los materiales para producir un bloque. Luego se calculó el costo de un bloque de concreto convencional con características similares. Hay una diferencia notable entre el costo de un bloque de concreto celular y el costo de un bloque de concreto convencional. La diferencia radica esencialmente en la cantidad de cemento requerida para elaborar el concreto celular y el uso de espumógeno.

TABLA 42 Costo de bloque de 960 kg/m³

Bloque de Concreto Celular - 960 kg/m³		
Material	Cantidad por bloque (kg)	Precio por bloque
Cemento	1.69	S/ 1.17
Arena	1.41	S/ 0.04
Espumante	0.01	S/ 0.26
		S/ 1.47

TABLA 43 Costo de bloque de 1120 kg/m³

Bloque de Concreto Celular - 1120 kg/m³		
Material	Cantidad por bloque (kg)	Precio por bloque
Cemento	1.64	S/ 1.13
Arena	2.09	S/ 0.06
Espumante	0.01	S/ 0.26
		S/ 1.46

TABLA 44 Costo de bloque de 1280 kg/m³

Bloque de Concreto Celular - 1280 kg/m³		
Material	Cantidad por bloque (kg)	Precio por bloque
Cemento	1.60	S/ 1.10
Arena	2.81	S/ 0.09
Espumante	0.01	S/ 0.27
		S/ 1.46

TABLA 45 Costo de bloque de concreto convencional

Bloque de Concreto Convencional		
Material	Cantidad por bloque (kg)	Precio por bloque
Cemento	1.07	S/ 0.74
Arena	6.93	S/ 0.21
Espumante	-	-
		S/ 0.95

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones

- La resistencia a la compresión axial de los bloques de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementó en un 4.82 % y un 17.86 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³. El incremento fue bastante menor a lo calculado por la Guía de ACI 523.3R-14 y presentó un crecimiento polinómico y no exponencial.
- No fue posible trabajar con relaciones de agua/cemento de 0.45, 0.55 y 0.65; porque la trabajabilidad era muy baja y reducía drásticamente el rendimiento de la espuma preformada. Los diseños finales fueron elaborados con relaciones de A/C de 0.72 para la densidad de 960 kg/m³, 0.77 para la densidad de 1120 kg/m³ y 0.83 para la densidad de 1280 kg/m³.
- La resistencia a la compresión axial de pilas de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementó en un 12.20 % y un 22.43 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³. Aunque hubo incrementos, estos fueron menores a los calculados teóricamente y presentaron una curva de crecimiento polinómica y no exponencial.
- La resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³ incrementó en un 26.88 % y un 40.79 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m³. El incremento fue mayor que en los otros dos ensayos, pero menor que lo calculado teóricamente.
- Los rendimientos finales de la espuma dependieron de la densidad fresca del concreto, estos fueron de 90% para la densidad de 960 kg/m³, 75% para la densidad de 1120 kg/m³ y 60% para la densidad de 1280 kg/m³ para un concentrado de aditivo espumógeno del 3%.
- Fue necesario el uso de un mezclador de mortero para obtener una mezcla homogénea y tuvo que descartarse el uso de un trompo convencional. El mezclador de mortero incorporaba rápidamente la espuma preformada con el mortero y de este modo se conservaba al máximo el rendimiento de la espuma y se generaba una densidad homogénea en toda la mezcla.
- Se descartó el uso de aditivo superplastificante por las reacciones que tenía con la espuma y las segregaciones que provocaba.
- Se optó por usar los valores mínimos de resistencia a la compresión de bloques de la NTP 399.600, con 42.32 kg/cm² y no de la E.070 con 20 kg/cm², para la clasificación del tipo de bloque.
- El concreto tuvo una reacción con el ácido clorhídrico y la espuma presentó un color ocre. Esta reacción podría deberse, entre otros, a la presencia de microorganismos.
- El costo de los bloques de concreto celular supera el costo de un bloque de concreto convencional debido a la mayor cantidad de cemento.

10.2. Recomendaciones

- Se recomienda hacer una investigación con otro tipo de cemento, aditivos (tanto espumógenos como plastificantes) y arena, sobre todo arenas con alto contenido de sílice. De este modo ver si se pueden obtener incrementos exponenciales conforme hay un aumento en la densidad de la mezcla.
- Se recomienda hacer una comparación de diseños entre concreto celular con espuma preformada (de origen proteico o sintético) y concreto celular con aditivos a base de pasta de aluminio.
- Se recomienda hacer moldes metálicos para una producción a gran escala, de este modo los moldes tendrían una mayor vida útil.
- Se recomienda utilizar un mezclador de mortero para obtener una uniformidad en la mezcla cuando se utilizan espumas preformadas.
- Se recomienda hacer un estudio de concreto celular curado con autoclave y compararlo con concreto celular curado en agua.
- Se recomienda hacer diseños con densidades frescas inferiores a 960 kg/m^3 y ver hasta qué densidad se puede llegar y seguir cumpliendo que lo mínimo exigido por la norma.
- Se recomienda hacer un estudio microbiológico (cultivo de microorganismos) para completar las pruebas hechas con ácido clorhídrico y ver si el uso de los bloques puede tener o no consecuencias sobre la salud.
- Se recomienda utilizar la NTP 399.600 para los valores mínimos a la compresión de bloques, puesto que proporciona valores superiores que la E.070; a menos que se pruebe que pruebe que se puedan utilizar los valores de la E.070 como valores mínimos.
- Se recomienda hacer más estudios sobre el mortero de junta y ver de qué modo influye en la resistencia a la compresión de pilas y muretes. Y cómo influye en las propiedades térmicas y acústicas de la albañilería.
- Se recomienda buscar la manera de reducir el precio de los bloques de concreto celular y mantener los valores mínimos de resistencia a la compresión.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO: T 330471 *La detección cualitativa de arcillas nocivas del grupo de las esmectitas en agregados utilizando azul de metileno.* (2019). Washington, D.C.
- ACI 213.R-14 . (2014). *Guía para concreto estructural de agregado ligero.*
- ACI 523.3R-14 *Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³).* (2014).
- ACI CT-13. (2013). *ACI Concrete Terminology.* Farmington Hills.
- ASTM C 123: *Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate.* (2004). West Conshohocken.
- ASTM C289-94: *Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) .* (1994). West Conshohocken.
- Bartolomé, Á. S. (2018). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería.* Lima: Fondo Editorial PUCP.
- Bohan, R., & Ries, J. (2000). *Structural Lightweight - Aggregate Concrete.* Holm.
- Cervantes Abarca, A. (2008). *Nuevas tecnologías en concretos, Concreto celular - Concreto reforzado con fibra - Concreto ligero estructural.* Ciudad de México.
- Chura Canahua, S. (2014). En *Concreto - Los beneficios del concreto celular. Revista Civilízate*, 36-37.
- Comité Técnico de Normalización de Unidades de Albañilería. (2017). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos.* Lima: Dirección de Normalización-INACAL.
- Concrete international. (2009). *Stephen J. Hayde: Father of the Lightweight Concrete Industry From the remnants in a brick cull pile, lightweight aggregate was developed By T.W. Bremner and John Ries.*
- Dirección de Normalización, I. (2018). *AGREGADOS, Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones.* Lima.
- Edificaciones, R. N. (2020). *Norma E.060, Concreto Armado.* Lima.
- INACAL. (2002). *NTP 400.018 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (N°200) por lavado en agregados.* Lima.
- INACAL. (2008). *NTP 334.082 Cementos Portland.* Lima.
- INACAL. (2013). *NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.* Lima.
- INACAL. (2013). *NTP 400. 022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del 2013 agregado fino.* Lima.
- INACAL. (2013). *NTP 400.011 Definición y clasificación de agregados para su uso en morteros y hormigones (concretos).* Lima.
- INACAL. (2017). *Norma Técnica Peruana - NTP 399.600 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos.* Lima.
- INACAL. (2017). *Norma Técnica Peruana - NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.* Lima.
- INACAL. (2018). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Agregados para mortero de albañilería. Requisitos.* Lima.
- INACAL. (2020). *NTP 334.009 CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos.* Lima.
- INACAL. (2021). *NTP 334.088 - CEMENTOS. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones.* Lima.
- Izquierdo Cárdenas, M. I., & Ortega Rivera, O. E. (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.* Lima.

- Lazo Arraya, J. (2017). *Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones*. Arequipa.
- Martínez Canales, H., F. Hernández, E., & Meneses Meneses, A. (2023). Concreto celular con espuma preformada y agregados ligeros. *Nexo*.
- McCormick, F. (1964). *A rational procedure for proportioning pre-formed foam cellular concrete mixes*. Michigan.
- Medina Piza, D. (2014). *Aanálisis de la viabilidad para el uso de mortero celular en Colombia a partir de la revisión del estado del arte*. Bogotá.
- NTP 399.163 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. *Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en abañilería*. (2005). Lima.
- NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. *Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. (2002). Lima.
- NTP 399.605 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. *Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería*. (2013). Lima.
- NTP 399.621 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. *Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*. (2004). Lima.
- NTP 400.019 AGREGADOS. *Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato demagnesio*. (2011). Lima.
- NTP 400.042 AGREGADOS. *Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en agua para agregados en concreto*. (2016). Lima.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma E.070 Albañilería*. Lima.
- Rojas Alaya, F. (2020). *Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural*. Lima-Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.
- Rojas Alaya, F. (2020). *Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural*. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.
- Silva Núñez, S. R. (2009). *Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado (HCA): estabilidad diemnsional y control de fisuración*. Santiago de Chile.
- Tuhesman, S. E. (2017). *Comparación y elaboración de un bloque de concreto celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional*. Ambato - Ecuador.
- Wainsztein, M., & Olazábal, W. C. (1974). *Hormigones livianos estructurales, Características tecnológicas de hormigones confeccionados con morteros tradicionales y árido granular liviano*.
- Zamora Terrones, L. P. (2015). *Diseño de un bloque de concreto ceular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural*. CAJAMARCA - PERÚ.

12. ANEXOS

12.1. Anexo 1

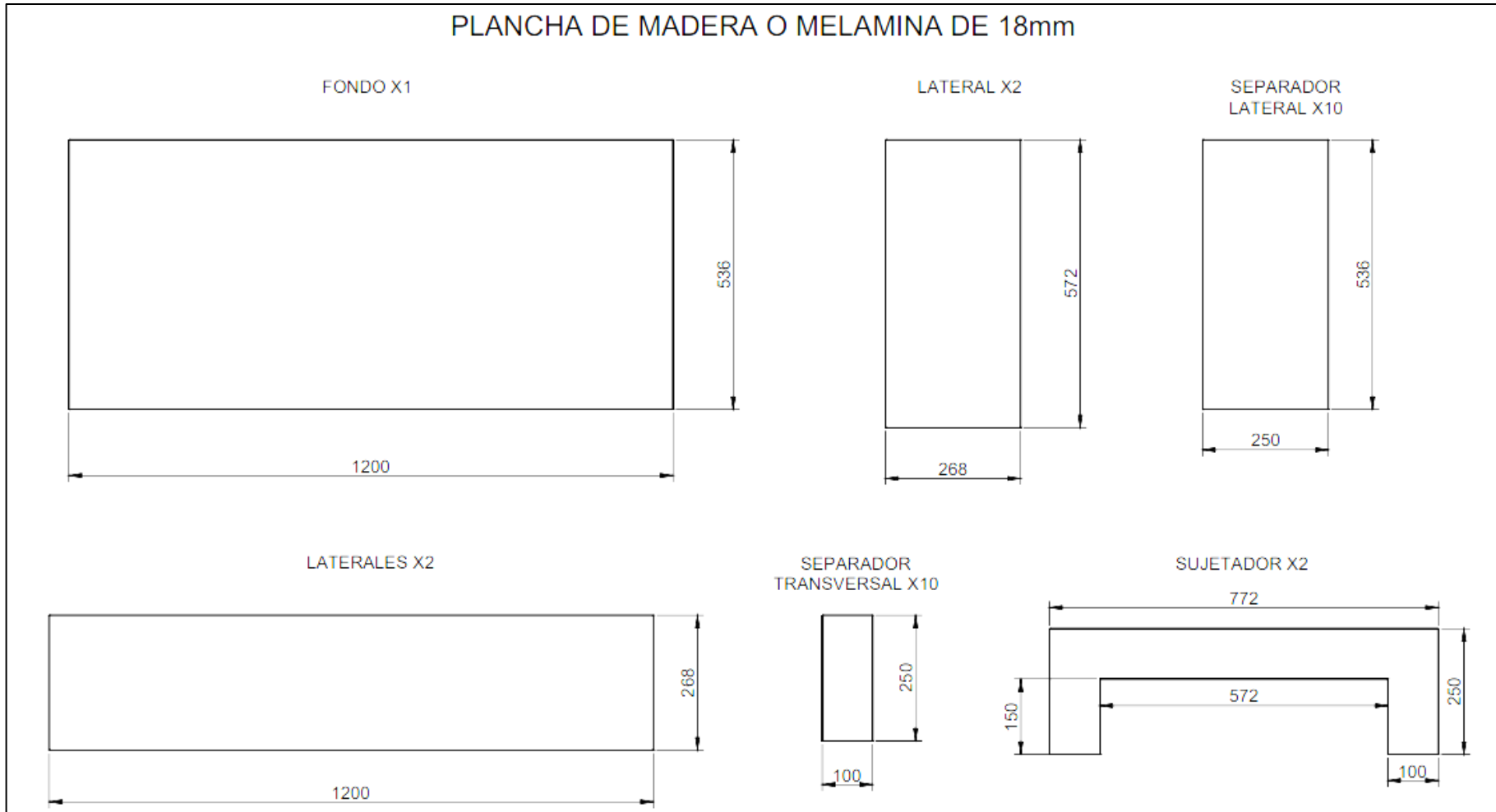
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Factores	Indicadores	
PG: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de bloques, la compresión axial de pilas y la compresión diagonal de muretes de albañilería de bloques de concreto celular para las densidades 960, 1120 y 1280 kg/m ³ con agregados de la cantera Huasacmayo – Cusco – 2023??	OG: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes albañilería de bloques de concreto celular con densidad 960 kg/m ³ , 1120kg/m ³ y 1280kg/m ³ con agregados de la cantera Huasacmayo – Cusco – 2023.	HG: La resistencia a la compresión axial de bloques, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ incrementará un 42 % y 102 % respectivamente respecto al patrón con densidad de 960 kg/m ³ .	X: Bloques de concreto celular	X1: Densidad del Concreto celular	X1: Kg/m ³	
				X2: Relación arena/cemento	X2: %	
				X3: Relación agua/cemento	X3: %	
			H0: La resistencia no incrementará. H1: La resistencia sí incrementará.	Y: Resistencia a la compresión	Y1: Resistencia a la compresión axial de bloques f'b	Y1: Mpa (kg/cm ²)
					Y2: Resistencia a la compresión axial de pilas f'm	Y2: Mpa (kg/cm ²)
					Y3: Resistencia a la compresión diagonal en muretes v'm	Y3: Mpa (kg/cm ²)
PE01: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de bloques de albañilería de concreto celular para las densidades de 960 kg/m ³ , 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ ?	OE01: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión de bloques de albañilería de concreto celular para las densidades de 960kg/m ³ , 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ .	La resistencia a la compresión axial de los bloques de concreto celular con densidades de 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ incrementará un 42 % y un 102 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m ³ .	X: Bloques de concreto celular	X1: Densidad de Concreto Celular	X1: Kg/m ³	
		H0: La resistencia no incrementará. H1: La resistencia sí incrementará.	Y: Resistencia a la compresión	Y1: Resistencia a la compresión Axial f'b	Y1: Mpa (kg/cm ²)	
PE02: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de bloques de albañilería de concreto celular para las relaciones de agua/cemento 0.65, 0.55 y 0.45?	OE02: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión axial de bloques de concreto celular para las relaciones de agua/cemento 0.65, 0.55 y 0.45.	HE02: Las relaciones agua/cemento de 0.55 y 0.45 incrementarán la resistencia a la compresión axial de bloques de concreto celular en un 10 % y 29 % en promedio respecto al patrón con una relación agua/cemento de 0.65.	X: Bloques de concreto celular	X3: Relación agua/cemento	X3: %	
		H0: La resistencia no incrementará H1: La resistencia sí incrementará				Y: Resistencia a la compresión
PE03: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión axial de pilas de bloques de concreto celular para las densidades de 960 kg/m ³ , 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ ?	OE03: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión de pilas de bloques de concreto celular para las densidades de 960kg/m ³ , 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ .	La resistencia a la compresión axial de pilas de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ incrementarán un 42 % y 102 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m ³ .	X: Bloques de concreto celular	X1: Densidad de Concreto Celular	X1: Kg/m ³	
		H0: La resistencia no incrementará H1: La resistencia sí incrementará	Y: Resistencia a la compresión	Y2: Resistencia a la compresión axial de pilas f'm	Y2: Mpa (kg/cm ²)	
PE04: ¿Cómo incrementará la resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloques de concreto celular para las densidades de 960 kg/m ³ , 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ ?	OE04: Determinar el incremento de la resistencia a la compresión diagonal de muretes de concreto celular para las densidades de 960kg/m ³ , 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ .	La resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería de concreto celular con densidades de 1120 kg/m ³ y 1280 kg/m ³ incrementarán un 42 % y 102 % respecto al patrón con densidad de 960 kg/m ³ .	X: Bloques de concreto celular	X1: Densidad de Concreto Celular	X1: Kg/m ³	
		H0: La resistencia no incrementará H1: La resistencia sí incrementará	Y: Resistencia a la compresión	Y3: Resistencia a la compresión diagonal en muretes v'm	Y3: Mpa (kg/cm ²)	

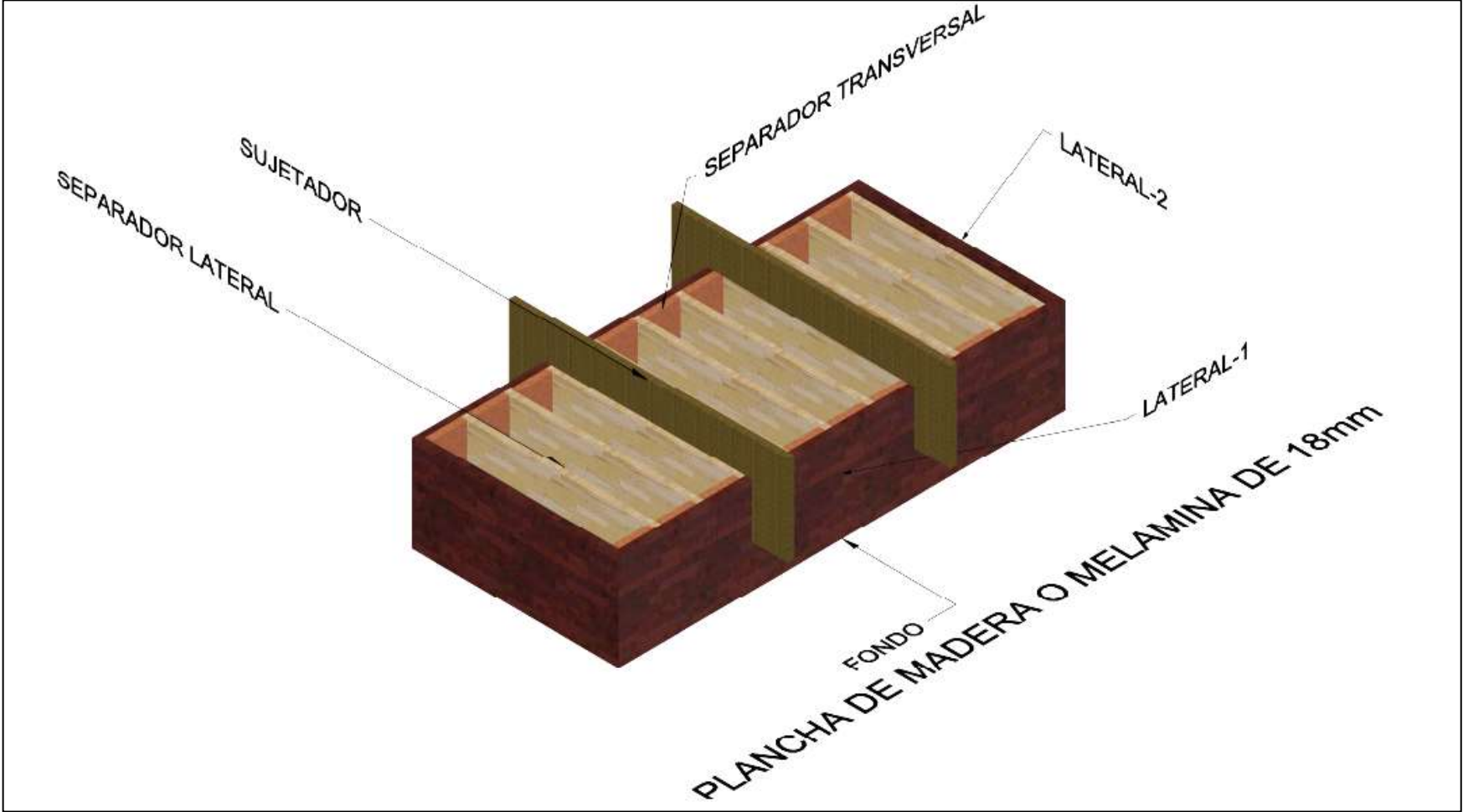
12.2. Anexo 2

Plano de los moldes para bloques de 10x15x30cm

PLANCHA DE MADERA O MELAMINA DE 18mm



Vista 3D del Molde para Boques de 10x15x30 cm



12.3. Anexo 3



Módulo de finura

El resultado del módulo de fineza (MF) es:

$$MF = 2.53$$

Contenido de humedad

El contenido de humedad se halló en cada día en el que se realizarán los vaciados de concreto celular.

Diseño	Fecha	Contenido de Humedad
A1-1	1/09/2023	2.35%
A1-2	5/09/2023	1.83%
A1-3	5/09/2023	1.83%
A2-1	6/09/2023	1.83%
A2-2	6/09/2023	1.83%
A2-3	6/09/2023	1.83%
A3-1	8/09/2023	1.63%
A3-2	11/09/2023	1.63%
A3-3	12/09/2023	1.63%

Diseño	Fecha	Contenido de Humedad
B1-1	12/09/2023	1.63%
B1-2	14/09/2023	1.83%
B1-3	14/09/2023	3.52%
B2-1	14/09/2023	3.09%
B2-2	15/09/2023	2.88%
B2-3	15/09/2023	1.73%
B3-1	18/09/2023	2.25%
B3-2	20/09/2023	2.88%
B3-3	20/09/2023	2.88%
C1-1	20/09/2023	2.88%
C1-2	22/09/2023	1.83%
C1-3	22/09/2023	2.46%
C2-1	25/09/2023	2.25%
C2-2	25/09/2023	2.25%
C2-3	26/09/2023	2.04%
C3-1	26/09/2023	2.04%
C3-2	27/09/2023	2.15%
C3-3	27/09/2023	2.15%

Material fino que pasa el tamiz de 75 µm (N° 200) por lavado

Según la NTP 400.037, el porcentaje de material fino que pasa la malla N°200 para concretos sujetos a abrasión no debe exceder el 3%. Para arenas manufacturadas, este porcentaje puede aumentar a 5% y 7%.

% DE FINOS QUE PASA LA MALLA N°200 = 12.00%

Peso específico de la arena

Se utilizará el peso específico de la arena (P.E.M.) y se harán las correcciones por humedad y absorción. Ver imagen del ensayo en ANEXOS

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA (P.E.M.) = 2.551 gr/cm³

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA (P.E. S.S.S.) = 2.455 gr/cm³

Porcentaje de absorción de la arena

Dato utilizado para la corrección de la cantidad de agua por absorción. Ver imagen del ensayo en ANEXOS – Panel Fotográfico

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN = 3.896%

Densidad de la espuma

Densidad de la espuma = 100 ± 5 kg/m³

12.4. Anexo 4

Formato de Control de Calidad del Agregado Fino
Control de Calidad del Agregado Fino

Muestra(s):

Fecha:

Contenido de Humedad Natural:

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	Peso Específico	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Nº de Cápsula			Nº de Recipiente		
Peso de Cápsula			P.M.S.S.S (gr)		
Peso de Cap. + M. Húmeda (gr)			P. Picno+Agua+M.flot (gr)		
Peso de Cap. + M. Seca (gr)			P.M. Seca (gr)		

Análisis Granulométrico:

Antes de lavar (gr):

Después de lavar (gr):

Tamiz Nº	Retenido		MUESTRA 01	MUESTRA 02
3/8''				
Nº4		Peso Unitario Suelto		
Nº8		Molde		
Nº16		Peso del Molde (gr)		
Nº30		Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)		
Nº50		Peso Unitario Varillado		
Nº100		Molde		
Nº200		Peso del Molde (gr)		
Bandeja		Peso del Molde + Muestra Varillada (gr)		

Formato de toma de datos para dimensionamiento

DIMENSIONAMIENTO								
DENSIDAD (kg/m3)	DISEÑO	Nº	LARGO		ALTO		ANCHO	
960	A1-1	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		7						
		8						
		9						
		10						
960	A1-2	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		7						
		8						
		9						
		10						

Formato de toma de datos para alabeo

ALABEO						
DENSIDAD (kg/m3)	DISEÑO	Nº	INFERIOR		SUPERIOR	
960	A1-1	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
960	A1-2	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				

Formato de toma de datos para ensayo de resistencia a la compresión de bloques

COMPRESIÓN AXIAL DE BLOQUES						
DENSIDAD (kg/m3)	DISEÑO O	N°	PESO BLOQUE (kg)	ÁREA (cm2)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm2)
960	A1-1	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
960	A1-2	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				

Formato de toma de datos para ensayo de resistencia a la compresión de pilas

COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS					
DENSIDAD (kg/m3)	DISEÑO	N°	ÁREA (cm2)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm2)
960	P 1-1	1			
	P 1-2	2			
	P 1-3	3			
1120	P 2-1	1			
	P 2-2	2			
	P 2-3	3			
1280	P 3-1	1			
	P 3-2	2			
	P 3-3	3			

Formato de toma de datos para ensayo de resistencia a la compresión de muretes

COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES					
DENSIDAD (kg/m ³)	DISEÑO	N°	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)
960	M 1-1	1			
	M 1-2	2			
	M 1-3	3			
1120	M 2-1	1			
	M 2-2	2			
	M 2-3	3			
1280	M 3-1	1			
	M 3-2	2			
	M 3-3	3			

12.5. Anexo 5

FORMATO DE DISEÑO DE MEZCLAS

Formato para cálculo de cantidades según el ACI 523.3R-14

PROYECTO: TESIS CONCRETO CELULAR FECHA: 24/11/2023
UBICACIÓN: MANUEL PRADO PROVEED: PYMAC
EJECUTA: PAVEL Y GABRIEL CANTERA: HUASAQMAYO
SUPERVISA: ING MIJAIL

DATOS PREVIOS

VOLUMEN	m3
DENSIDAD HUMEDA REQUERIDA	kg/m3
RENDIMIENTO DE LA ESPUMA	
CONCENTRADO DE ESPUMANTE	
PLASTIFICANTE	
DENISDAD DE LA ESPUMA	kg/m3
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	gr/cm3
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	gr/cm3
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	gr/cm3
ABSORCIÓN DE LA ARENA	
HUMEDAD DE LA ARENA	

DISEÑO

1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TEÓRICA	
	$f^c = 0.34 * e^{0.0022 * 960}$	kg/cm2
2	RELACIÓN AGUA/CEMENTO - ASUMIR	
	W/c	
3	RELACIÓN ARENA/CEMENTO	
	$s/c = (yf - 673) / 345$	
4	RELACIÓN SECA AL HORNO	
	$Ds = (yf - 122)$	kg/m3
5	CEMENTO REQUERIDO	
	$C = yf / (1 + w/c + s/c)$	kg/m3
6	CANTIDAD DE ARENA	
	$S = C * s/c$	kg/m3
7	CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA	
	$W = C * w/c$	kg/m3
8	VOLUMEN ABSOLUTO DE SÓLIDOS	
	$Va = C / (Gc * yw) + W / (yw) + S / (Gs * yw)$	m3
	$Av = 1 - Va$	m3

9	VOLUMEN DE ESPUMA	
	Vf = Av/fyield	m3
	F= Vf*yf	kg
10	AJUSTE DEL PESO DEL AGUA	
	AGUA EN LA ESPUMA	kg/m3
	AGUA EN LA ARENA	kg/m3
	AGUA CORREGIDA	kg/m3
	ARENA CORREGIDA	kg/m3
11	PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA 1M3	
	CEMENTO	kg/m3
	AGUA	kg/m3
	ARENA	kg/m3
	ESPUMA	kg/m3
	PESO TOTAL	kg/m3
12	CANTIDAD DE VOLUMEN SOLICITADO	
	VOLUMEN	lt
	CEMENTO	kg
	AGUA	kg
	ARENA	kg
	AGUA EN LA ESPUMA	kg
	CANTIDAD DE ESPUMANTE	gr
	ADITIVO PLASTIFICANTE	gr
	PESO TOTAL	kg

Nota: Fuente propia basada en (ACI 523.3R-14 Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft3 (800 kg/m3), 2014)

Donde:

f'c= Resistencia a la Compresión en kg/cm2

yf= Densidad Húmeda Requerida (kg/m3)

yw= Peso específico del Agua (kg/m3)

fyield= Rendimiento de la Espuma (%)

W= Cantidad de Agua (kg/m3)

Ds= Densidad del Concreto Celular Seca al Horno (kg/m3)

C= Cantidad de Cemento (kg/m3)

S= Cantidad de Arena (kg/m3)

Va= Volumen Absoluto de Sólidos (m3)

Av= Volumen de Vacíos (m3)

Vf= Volumen de Espuma (m3)

F= Cantidad de Espuma (kg)

Resultados de laboratorio

Dimensionamiento de bloques de 960kg/m³ – Primera parte

Diseño	Promedio de dimensiones (cm)			Diseño	Promedio de dimensiones (cm)			Diseño	Promedio de dimensiones (cm)					
	Ancho	Largo	Altura		Ancho	Largo	Altura		Ancho	Largo	Altura			
A1-1	1	10.03	30.15	15.2	A2-1	1	10.04	30.03	15.1	A3-1	1	10.03	30.23	15.02
	2	10.08	30.13	15.17		2	10.06	30	15.05		2	10.04	30	15.08
	3	10.07	30.15	15.03		3	10.06	30.05	15.06		3	10.04	30.15	15.05
	4	10.08	30.2	15.25		4	10.07	30.15	15.11		4	10.05	30.1	15.06
	5	10.09	30.15	15.13		5	10.06	30.1	15.09		5	10.01	30.13	15.09
	6	10.06	30.1	15.19		6	10.01	30.08	15.08		6	10.06	30.18	15.1
	7	10.09	30.05	15.21		7	10.08	30	15.07		7	10.07	30.15	15.08
	8	10.09	30.1	15.33		8	10.07	29.8	15.07		8	10.05	30.15	15.08
	9	10.04	30.03	15.3		9	10.08	30.08	15.07		9	10.05	30.17	15.1
	10	10	29.95	15.22		10	10.04	29.92	15.03					
A1-2	1	10.12	30.13	15.1	A2-2	1	10.05	30	15.05	A3-2	1	10.06	30.13	15.04
	2	10.04	30.13	15.24		2	10	30.08	15.05		2	10.08	30.1	14.95
	3	10.03	30.1	15.15		3	10.05	30.08	15.01		3	10.04	30.12	14.99
	4	10.07	30.15	15.2		4	10.05	30.05	15		4	10.1	30.13	14.87
	5	10.06	30.18	15.21		5	10.07	30.08	15.07		5	10.08	30.17	14.91
	6	10.08	30.1	15.25		6	10.07	30.15	15.04		6	10.06	30.12	14.92
	7	10.05	30.08	15.21		7	10.05	30.15	15.07		7	10.06	30.13	14.98
	8	10.07	30.18	15.24		8	10.04	30.15	15.08		8	10.05	30.1	15.06
	9	10.05	30.1	15.13		9	10.06	30.18	15.06		9	10.13	30.1	14.99
	10	10.05	30.03	15.11		10	10.07	30.05	15.04		10	10.05	30	14.86
A1-3	1	10.07	30.03	14.83	A2-3	1	10.08	30.35	14.95	A3-3	1	10.07	30.3	14.93
	2	10.1	30.1	14.86		2	10.06	30.25	15.07		2	10.06	30.15	15.01
	3	10.07	30.05	14.84		3	10.07	30.18	15.08		3	10.07	30.15	15.07
	4	10.06	30.18	14.92		4	10.04	30.18	15.08		4	10.06	30.13	15.07
	5	10.08	30.1	14.91		5	10.06	30.2	15.04		5	10.05	30.1	15.06
	6	10.04	30.15	14.82		6	10.06	30.18	15.05		6	10.06	30.1	15.06
	7	10.06	30.18	14.84		7	10.09	30.25	15		7	10.05	30.1	15.15
	8	10.03	30.05	14.93		8	10.07	30.18	15.02		8	10.09	30.1	15.12
	9	10.08	30.1	14.95		9	10.08	30.18	15.05		9	10.09	30.13	15.06
						10	10.05	30.33	14.88		10	10.05	30.4	14.95

Dimensionamiento de bloques de 1120 kg/m³ – Primera parte

Diseño	Promedio de dimensiones (cm)			Diseño	Promedio de dimensiones (cm)			Diseño	Promedio de dimensiones (cm)					
	Ancho	Largo	Altura		Ancho	Largo	Altura		Ancho	Largo	Altura			
B1-1	1	10.15	30.1	15.16	B2-1	1	10.02	30.05	15.19	B3-1	1	10.1	30.05	15.07
	2	10.06	30.28	15.27		2	10.08	30.23	15.29		2	10.15	30	15.09
	3	10.08	30.28	15.22		3	10.1	30.2	15.38		3	10.09	30.03	15.19
	4	10.1	30.5	15.24		4	10.12	30.2	15.21		4	10.04	30.2	15.23
	5	10.1	30.38	15.29		5	10.06	30.23	15.17		5	10.07	30.2	15.22
	6	10.06	30.38	15.39		6	10.05	30.25	15.25		6	10.03	30.1	15.29
	7	10.02	30.3	15.2		7	10.08	30.33	15.24		7	10.04	30.1	15.33
	8	10.08	30.33	15.25		8	10.02	30.25	15.24		8	10.07	30.1	15.3
	9	10.05	30.33	15.24		9	10.06	30.2	15.25		9	10.05	30.1	15.23
	10	10.05	30.1	15.19		10	10.04	30.05	15.18		10	10.01	30.05	15.32
B1-2	1	10.03	30.05	15.09	B2-2	1	10.07	30	15.16	B3-2	1	10.07	30.15	15.07
	2	10.04	29.95	15.03		2	10.07	30.13	15.2		2	10.09	30.15	15.12
	3	10.04	30.03	15.3		3	10.1	30.1	15.17		3	10.07	30.2	15.07
	4	10.06	30	15.18		4	10.08	30.08	15.2		4	10.08	30.28	15.11
	5	10.05	30.03	15.16		5	10.06	30.13	15.25		5	10.04	30.4	15.03
	6	10.03	30.07	15.14		6	10.06	30.03	15.28		6	10.06	30.4	15.17
	7	10.05	30.1	15.33		7	10.09	30.1	15.22		7	10.1	30.35	15.13
	8	10.06	30	15.28		8	10.06	30.05	15.15		8	10.11	30.35	15.14
	9	10.03	30	15.34		9	10.08	30.03	15.09		9	10.11	30.28	15.07
	10	10.01	30.03	15.21		10	10.07	30.25	15.12		10	10.06	30.15	15.1
B1-3	1	10.05	30.15	15.15	B2-3	1	10.07	30.05	15.12	B3-3	1	10.07	30.15	15.12
	2	10.08	30.15	15.19		2	10.08	29.85	15.17		2	10.06	30.13	15.01
	3	10.06	30.25	15.15		3	10.09	30.1	15.12		3	10.13	30.15	15.08
	4	10.05	30.25	15.14		4	10.05	30.15	15.2		4	10.07	30.15	15.11
	5	10.05	30.2	15.15		5	10.08	30.15	15.22		5	10.07	30.13	15.16
	6	10.09	30.25	15.12		6	10.03	30.1	15.22		6	10.09	30.05	15.13
	7	10.03	30.3	15.12		7	10.05	30.2	15.27		7	10.05	30.05	15.14
	8	10.05	30.25	15.13		8	10.04	30.05	15.17		8	10.07	30.1	15.13
	9	10.07	30.13	15.13		9	10.09	30	15.12		9	10.09	30.18	15.11
	10	10.07	30.15	15.02		10	10.1	30.05	15.09		10	10.09	30.03	15.1

Dimensionamiento de los bloques de 1280 kg/m³ – Primera parte

Diseño	Promedio de dimensiones (cm)			Diseño	Promedio de dimensiones (cm)			Diseño	Promedio de dimensiones (cm)					
	Ancho	Largo	Altura		Ancho	Largo	Altura		Ancho	Largo	Altura			
C1-1	1	10.03	30.18	15.12	C2-1	1	10.12	30.05	15.14	C3-1	1	10.05	30.2	15.01
	2	10.06	30.2	15.01		2	10.07	30.2	15.17		2	10.1	30.25	15.16
	3	10.07	30.2	15.08		3	10.08	30.23	15.17		3	10.07	30.3	15.17
	4	10.1	30.23	15.11		4	10.04	30.25	15.17		4	10.12	30.28	15.2
	5	10.05	30.25	15.16		5	10.09	30.2	15.22		5	10.05	30.3	15.22
	6	10.04	30.25	15.13		6	10.09	30.35	15.25		6	10.1	30.38	15.17
	7	10.03	30.23	15.14		7	10.09	30.3	15.23		7	9.98	30.33	15.13
	8	10.11	30.23	15.13		8	10.07	30.28	15.23		8	10.05	30.25	15.16
	9	10.04	30.15	15.11		9	10.07	30.2	15.15		9	10.11	30.2	15.2
	10	10.05	30.1	15.1		10	10.04	30.28	15.13		10	10.12	30.05	15.12
C1-2	1	10.08	30.13	15.26	C2-2	1	10.04	30.2	15.21	C3-2	1	10.1	30.05	15.05
	2	10.08	30.2	15.23		2	10.06	30.15	15.24		2	10.08	30.13	15.07
	3	10.08	30.1	15.26		3	10.07	30.13	15.25		3	10.07	30.28	15.05
	4	10.04	30.18	15.28		4	10.09	30.15	15.19		4	10.06	30.25	15.13
	5	10.04	30.1	15.33		5	10.06	30.05	15.19		5	10.07	30.23	15.18
	6	10.08	30.2	15.23		6	10.06	30.13	15.21		6	10.08	30.25	15.14
	7	10.06	30.23	15.19		7	10.05	30.15	15.23		7	10.07	30.3	15.09
	8	10.05	30.23	15.22		8	10.08	30.1	15.24		8	10.06	30.3	15.05
	9	10.09	30.25	15.28		9	10.09	30.05	15.21		9	10.05	30.25	15.03
	10	10.07	30.25	15.2		10	10.07	30	15.16		10	10.06	30.2	15.07
C1-3	1	10.05	30.08	15.14	C2-3	1	10.04	30.25	15.01	C3-3	1	10.13	30.23	15.08
	2	10.05	30.13	15.09		2	10.07	30.3	15.16		2	10.07	30.2	15.12
	3	10.05	30.15	15.22		3	10.04	30.28	15.17		3	10.08	30.25	15.09
	4	10.09	30.15	15.23		4	10.04	30.3	15.2		4	10.08	30.25	15.11
	5	10.08	30.2	15.17		5	10.07	30.35	15.22		5	10.08	30.4	15.03
	6	10.08	30.13	15.18		6	10.12	30.3	15.17		6	10.05	30.35	15.13
	7	10.09	30.05	15.15		7	10.04	30.3	15.13		7	10.07	30.35	15.07
	8	10.08	30.08	15.14		8	10.1	30.3	15.16		8	10.12	30.3	15.1
	9	10.05	30.13	15.12		9	10.12	30.38	15.2		9	10.15	30.15	15.05
	10	10.05	30.13	15.11		10	10.03	30.3	15.12		10	10.05	30.15	15.04

Tabla de medición de alabeo para la densidad de 960kg/m3 – Primera parte

Diseño	Número	Alabeo (mm)	Diseño	Número	Alabeo (mm)	Diseño	Número	Alabeo (mm)
A1-1	1	2.50	A2-1	1	1.65	A3-1	1	1.51
	2	2.19		2	0.96		2	1.80
	3	2.24		3	0.86		3	1.20
	4	2.23		4	0.96		4	1.48
	5	2.39		5	1.85		5	1.80
	6	2.09		6	1.58		6	1.48
	7	1.07		7	1.41		7	1.83
	8	3.01		8	1.65		8	1.30
	9	2.56		9	1.26		9	1.59
	10	1.98		10	1.77			
A1-2	1	1.53	A2-2	1	1.99	A3-2	1	2.64
	2	2.00		2	2.02		2	2.17
	3	1.72		3	1.79		3	2.69
	4	1.65		4	1.51		4	3.28
	5	3.11		5	1.71		5	2.65
	6	2.02		6	1.49		6	1.34
	7	1.64		7	1.13		7	2.83
	8	2.03		8	1.48		8	1.78
	9	1.52		9	1.31		9	2.21
	10	1.70		10	1.48		10	1.65
A1-3	1	3.39	A2-3	1	1.79	A3-3	1	1.82
	2	3.05		2	1.21		2	1.66
	3	2.15		3	0.71		3	1.79
	4	1.23		4	1.25		4	1.53
	5	1.55		5	1.75		5	2.32
	6	1.72		6	2.15		6	2.50
	7	2.53		7	2.09		7	2.57
	8	1.87		8	1.02		8	1.74
	9	1.65		9	0.95		9	2.04
				10	2.14		10	2.33

Tabla de medición de alabeo para la densidad de 1120kg/m³ – Primera parte

Diseño	Número	Alabeo (mm)	Diseño	Número	Alabeo (mm)	Diseño	Número	Alabeo (mm)
B1-1	1	1.68	B2-1	1	1.80	B3-1	1	3.02
	2	1.66		2	1.29		2	2.98
	3	1.29		3	3.06		3	2.76
	4	1.05		4	2.14		4	2.16
	5	1.46		5	2.39		5	2.17
	6	1.77		6	1.30		6	2.54
	7	1.51		7	2.03		7	1.98
	8	2.42		8	1.80		8	2.85
	9	1.28		9	1.72		9	2.38
	10	1.29		10	0.87		10	1.35
B1-2	1	1.67	B2-2	1	1.29	B3-2	1	1.64
	2	1.13		2	1.13		2	2.51
	3	1.75		3	1.25		3	1.56
	4	1.47		4	1.34		4	1.94
	5	1.16		5	1.50		5	0.78
	6	1.99		6	1.65		6	1.41
	7	1.41		7	1.90		7	1.98
	8	1.35		8	1.73		8	1.79
	9	1.36		9	1.32		9	1.07
	10	1.86		10	2.09		10	1.24
B1-3	1	0.97	B2-3	1	1.42	B3-3	1	1.98
	2	1.19		2	2.03		2	1.67
	3	1.53		3	1.55		3	1.13
	4	1.14		4	2.37		4	1.44
	5	0.75		5	1.71		5	1.42
	6	1.57		6	1.43		6	1.32
	7	1.79		7	1.44		7	1.45
	8	1.04		8	1.58		8	1.35
	9	1.16		9	1.11		9	1.13
	10	1.50		10	1.82		10	1.52

Tabla de medición de alabeo para la densidad de 1280kg/m³ – Primera parte

Diseño	Número	Alabeo (mm)	Diseño	Número	Alabeo (mm)	Diseño	Número	Alabeo (mm)
C1-1	1	1.82	C2-1	1	1.435	C3-1	1	1
	2	1.21		2	1.21		2	1.935
	3	1.895		3	1.555		3	1.65
	4	11.49		4	1.045		4	1.83
	5	2.48		5	0.78		5	1.12
	6	2.135		6	0.97		6	1.905
	7	2.325		7	1.425		7	3.08
	8	2.42		8	1.415		8	2.08
	9	2.57		9	1.29		9	1.6
	10	1.925		10	2.21		10	2.06
C1-2	1	1.17	C2-2	1	1.975	C3-2	1	1.44
	2	1.61		2	1.655		2	2.55
	3	1.815		3	1.495		3	1.485
	4	1.37		4	1.41		4	1.525
	5	1.205		5	1.71		5	3.01
	6	1.65		6	1.705		6	1.675
	7	1.69		7	1.53		7	0.795
	8	1.085		8	1.73		8	0.865
	9	0.86		9	1.165		9	1.44
	10	1.565		10	1.58		10	1.855
C1-3	1	2.145	C2-3	1	1.7	C3-3	1	2.02
	2	3.305		2	1.215		2	1.725
	3	1.52		3	1.665		3	1.31
	4	1.43		4	1.665		4	1.985
	5	1.415		5	1.66		5	1.71
	6	1.165		6	1.245		6	1.745
	7	1.355		7	2.99		7	2.17
	8	1.105		8	1.69		8	1.495
	9	1.46		9	1.89		9	1.845
	10	1.065		10	2.145		10	1.67

Resistencia a la compresión Primera Etapa - 960 kg/m³

Diseño	Densidad				Diseño	Densidad				Diseño	Densidad			
	Nº	rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)		Nº	rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)		Nº	rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
A1-1	1	920.47	3460.7	11.44	A2-1	1	963.83	6721.3	22.29	A3-1	1	1120.29	8980.2	29.62
	2	834.55	2840	9.35		2	891.66	5447	18.05		2	1023.76	5878.2	19.52
	3	870.87	3249.4	10.7		3	927.58	4997	16.53		3	1090.93	7159	23.65
	4	924.96	3483.7	11.44		4	949.09	6406.6	21.1		4	1051.42	7201.3	23.81
	5	951.6	2938.9	9.66		5	1010.43	6162.5	20.35		5	1119.27	7391	24.51
	6	941.82	3541.8	11.7		6	1028.5	6470.7	21.49		6	1088.44	7350.8	24.21
	7	896.41	3444.8	11.36		7	1031.12	6810.1	22.52		7	1045.55	7026.2	23.14
	8	845.39	2912.8	9.59		8	991.53	6750.2	22.49		8	1030.56	6997.1	23.09
	9	884.9	2814.3	9.33		9	953.75	6829.4	22.52		9	1030.04	7922.5	26.13
	10	860.39	3151.2	10.52		10	1090.82	6372.5	21.21					
A1-2	1	908.51	4971.2	16.3	A2-2	1	1156.56	7410	24.58	A3-2	1	842.12	4190.9	13.83
	2	890.64	4978.7	16.46		2	1047.7	6857.3	22.8		2	799.83	4466.7	14.72
	3	917.17	5041.2	16.7		3	1090.01	7695.6	25.46		3	795.05	3799.7	12.56
	4	898.4	5122.7	16.87		4	1043.7	7186.6	23.8		4	804.84	4478.8	14.72
	5	906.9	5518.3	18.18		5	1008.15	6666.7	22.01		5	803.65	3797.5	12.49
	6	903.4	5421.4	17.87		6	1007.6	7088.2	23.35		6	786.35	4177.1	13.79
	7	903.86	4865.5	16.09		7	987.01	6700.3	22.11		7	752.55	4671	15.41
	8	881.33	5370.8	17.67		8	1001.36	6227.6	20.57		8	790.43	4147	13.71
	9	879.42	5054.9	16.71		9	972.14	6868	22.62		9	756.13	4163	13.65
	10	900.4	5250.2	17.4		10	1048.09	7017.3	23.19		10	809.77	4398	14.59
A1-3	1	1240.91	8663.1	28.65	A2-3	1	1005.33	6727	21.99	A3-3	1	1018.34	5786	18.96
	2	1172.09	8579.2	28.22		2	954.42	6655.5	21.87		2	975.47	7111.6	23.45
	3	1208.74	10846.4	35.84		3	979.05	7229	23.79		3	980.9	5717.7	18.83
	4	1237.78	10207.3	33.62		4	955.72	7632	25.19		4	971.36	5590.9	18.45
	5	1217.11	8701.5	28.68		5	961.41	7150	23.53		5	951.11	5785.4	19.12
	6	1155.79	8744.7	28.89		6	991.61	7553.2	24.88		6	940.74	5381.1	17.77
	7	1171.44	10377.5	34.18		7	969.13	6862.5	22.48		7	889.38	4891	16.17
	8	1183.8	8979.7	29.79		8	992.38	7099.2	23.36		8	929.21	5208.5	17.15
	9	1130.96	8721.7	28.75		9	934.6	6393.7	21.02		9	853.79	4527.3	14.89
						10	921.36	5815.8	19.08		10	866.11	4837.2	15.83

Resistencia a la compresión Primera Etapa - 1120 kg/m³

Diseño	Nº	Densidad rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Diseño	Nº	Densidad rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Diseño	Nº	Densidad rotura (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
B1-1	1	1011.53	2705.8	8.86	B2-1	1	808.97	2659.4	8.83	B3-1	1	1005.94	4568.1	15.05
	2	1086.32	2639.6	8.67		2	771.82	2840	9.32		2	954.75	4393.5	14.43
	3	1064.47	2794.6	9.16		3	761.21	2715	8.9		3	972.27	3987.5	13.16
	4	1006.67	2642.5	8.58		4	757.23	2842.4	9.3		4	937.88	3802.5	12.54
	5	1025.67	2700.8	8.8		5	823.04	3039.6	9.99		5	930.08	3903.5	12.84
	6	1035.39	2613.3	8.55		6	815.76	3135	10.31		6	907.04	4091	13.55
	7	975.34	2546.3	8.39		7	792.61	2812.7	9.2		7	877.87	4055.5	13.42
	8	1029.96	2743.2	8.97		8	840.38	3460.3	11.42		8	924.41	4101.7	13.53
	9	962.89	2519.2	8.26		9	831.62	3164.6	10.42		9	876.03	4024.4	13.3
	10	1045.91	2698.7	8.92		10	835.84	3414.9	11.32		10	906.42	4779.8	15.89
B1-2	1	997.55	4362.6	14.47	B2-2	1	1096.11	6554	21.69	B3-2	1	1043.4	5949.6	19.6
	2	977.54	3614.2	12.02		2	1056.42	5684.9	18.74		2	1008.98	6564.8	21.58
	3	1014.1	3720.3	12.34		3	1057.06	5578.7	18.35		3	1023.57	6218.5	20.45
	4	996.66	3368.2	11.16		4	1087.5	5495.6	18.12		4	1012.81	6309.5	20.67
	5	1034.03	3867.4	12.81		5	1068.93	5968	19.69		5	989.45	6787.5	22.24
	6	983.08	4739.2	15.71		6	1073.63	6220.7	20.59		6	997.98	5755.5	18.82
	7	987.84	3630.4	12		7	1060.04	5528.4	18.2		7	993.56	5848.3	19.08
	8	991.87	3241.5	10.74		8	1058.32	5289.3	17.5		8	995.58	5932.4	19.33
	9	1002.21	4312	14.33		9	1071.86	6149.9	20.32		9	989.94	5969.4	19.5
	10	956.67	3853	12.82		10	1113.81	6593.5	21.65		10	1008.96	5997.4	19.77
B1-3	1	1050.42	6473.8	21.37	B2-3	1	1030.08	5436.5	17.97	B3-3	1	1132.97	7315	24.09
	2	1032.18	6313.9	20.78		2	1007.78	4969.3	16.52		2	1096.13	7553.8	24.92
	3	1048.29	6619.9	21.75		3	1011.31	5140.5	16.93		3	1112.96	8284.6	27.13
	4	1031.12	6855.3	22.55		4	991.38	5148.8	16.99		4	1085.55	8088.5	26.64
	5	1041.5	5446.4	17.94		5	956.21	4973.1	16.36		5	1098.77	7569.9	24.95
	6	1020.81	6201	20.32		6	992.83	5338.2	17.68		6	1134.39	6821.3	22.5
	7	1013.69	5605	18.44		7	961.9	5090.4	16.77		7	1137.93	7336.6	24.29
	8	1003.11	6956.5	22.88		8	950.66	5108.3	16.93		8	1113.6	7548	24.9
	9	981.14	5839.1	19.24		9	965.52	5502.5	18.18		9	1083.4	7253.4	23.82
	10	1017.93	6285.9	20.7		10	957.23	5153.9	16.98		10	1051.51	5943.1	19.61

Resistencia a la compresión Primera Etapa - 1280 kg/m3

Diseño	Nº	Densidad rotura (kg/m3)	Carga (kg)	f'c (kg/cm2)	Diseño	Nº	Densidad rotura (kg/m3)	Carga (kg)	f'c (kg/cm2)	Diseño	Nº	Densidad rotura (kg/m3)	Carga (kg)	f'c (kg/cm2)
C1-1	1	1274.22	3034.9	10.03	C2-1	1	1273.63	6947.4	17.96	C3-1	1	1375.64	6225.1	20.51
	2	1236.78	2212.2	7.28		2	1262.62	7774.2	17.08		2	1341.82	6520.4	21.34
	3	1247.26	2651.3	8.72		3	1290.62	8037.6	20.77		3	1315.49	6196.9	20.31
	4	1173.53	2448.1	8.02		4	1240.86	7862.5	18.09		4	1269.7	5688.9	18.56
	5	1211.15	2504.9	8.24		5	1221.91	7912.8	16.18		5	1281.2	6282.2	20.63
	6	1234.35	2763.5	9.1		6	1224.62	7941.4	19.21		6	1275.05	5921.4	19.3
	7	1119.04	2120.1	6.99		7	1241.13	7847.3	17.9		7	1295.92	5143.5	16.99
	8	1162.17	2668.8	8.73		8	1242.48	7185.9	18.24		8	1259.32	5371.8	17.67
	9	1113.93	2392.1	7.9		9	1228.91	8480.4	18.81		9	1271.74	5360.3	17.56
	10	1143.43	2392.8	7.91		10	1205.3	7130.3	18.75		10	1272.05	6248.9	20.55
C1-2	1	1205.06	5915.8	19.48	C2-2	1	1297.98	6797.7	22.91	C3-2	1	1179.36	6907.1	22.76
	2	1231.38	5622.3	18.47		2	1277.9	6579.4	25.63		2	1179.83	6541.9	21.54
	3	1240.39	4987.5	16.44		3	1286.37	6509.5	26.49		3	1144.03	6275.7	20.58
	4	1216.64	5496.6	18.14		4	1261.41	5951.7	25.85		4	1159.79	6268.2	20.6
	5	1238.56	4851.7	16.05		5	1222.13	6768.1	26.18		5	1172.68	6353.8	20.87
	6	1216.93	5059.7	16.62		6	1226.61	6918.4	26.2		6	1182.07	6670.1	21.87
	7	1201.43	6183.2	20.33		7	1213.49	6941	25.9		7	1135.68	7021	23.01
	8	1198.96	6528.3	21.49		8	1278.35	6057.1	23.68		8	1139.83	5765.2	18.91
	9	1191.09	4875.2	15.97		9	1279.34	6753.1	27.97		9	1148.75	6248	20.55
	10	1213.34	5306.1	17.42		10	1289.13	7905.5	23.6		10	1157.16	5656.3	18.62
C1-3	1	1305.91	7461.8	24.68	C2-3	1	1288.31	5436.5	22.38	C3-3	1	1373.77	9426.2	30.78
	2	1248.1	6101.8	20.15		2	1324.58	4969.3	21.56		2	1393.37	7689.5	25.28
	3	1195.64	6843.5	22.59		3	1283.87	5140.5	21.41		3	1361.15	8471.8	27.78
	4	1259.61	6612	21.73		4	1301.03	5148.8	19.56		4	1335.04	7483	24.54
	5	1231.49	7022.2	23.07		5	1298.48	4973.1	22.15		5	1341.61	7028.3	22.94
	6	1251.76	6362.4	20.95		6	1274.38	5338.2	22.56		6	1307.5	7838.4	25.7
	7	1216.92	5401.6	17.82		7	1299.01	5090.4	22.82		7	1337.89	6665.1	21.81
	8	1227.96	6531	21.54		8	1289.6	5108.3	19.79		8	1240.55	8058	26.28
	9	1197.35	5299.2	17.5		9	1222.51	5502.5	21.97		9	1268.23	7041.7	23.01
	10	1268.74	6136.2	20.26		10	1304	5153.9	26.01		10	1435.96	7876.7	26

Diseño de mezclas 960 kg/m³ - Segunda Parte

DATOS PREVIOS

VOLUMEN	1.00	m ³
DENSIDAD HUMEDA REQUERIDA	960	kg/m ³
RENDIMIENTO DE LA ESPUMA	90.00%	
CONCENTRADO DE ESPUMANTE	3.00%	
PLASTIFICANTE	0.00%	
DENISDAD DE LA ESPUMA	120	kg/m ³
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	3	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	2.55	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	1	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE LA ARENA	3.90%	
HUMEDAD DE LA ARENA	3.95%	

DISEÑO

1	LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TEÓRICA		
	$f_c = 0.34 \cdot e^{0.0022 \cdot 960}$	28.66	kg/cm ²
2	RELACIÓN AGUA/CEMENTO - ASUMIR		
	W/c	0.72	
3	RELACIÓN ARENA/CEMENTO		
	$s/c = (y_f - 673) / 345$	0.83	
4	RELACIÓN SECA AL HORNO		
	$D_s = (y_f - 122)$	838	kg/m ³
5	CEMENTO REQUERIDO		
	$C = y_f / (1 + w/c + s/c)$	376.19	kg/m ³
6	CANTIDAD DE ARENA		
	$S = C \cdot s/c$	312.95	kg/m ³
7	CANTIDAD DE AGUA		
	$W = C \cdot w/c$	270.86	kg/m ³
8	VOLUMEN ABSOLUTO DE SÓLIDOS		
	$V_a = C / (G_c \cdot y_w) + W / (y_w) + S / (G_s \cdot y_w)$	0.52	m ³
	$A_v = 1 - V_a$	0.48	m ³
9	VOLUMEN DE ESPUMA		
	$V_f = A_v / f_{yield}$	0.53452	m ³
	$F = V_f \cdot y_f$	64.14	kg
10	AJUSTE DEL PESO DEL AGUA		
	AGUA EN LA ESPUMA	64.14	kg/m ³
	AGUA EN LA ARENA	0.17	kg/m ³
	AGUA CORREGIDA	206.55	kg/m ³
	ARENA CORREGIDA	313.12	kg/m ³

11	PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA 1M3		
	CEMENTO	376.19	kg/m3
	AGUA	206.55	kg/m3
	ARENA	313.12	kg/m3
	ESPUMA	64.14	kg/m3
	PESO TOTAL	960	kg/m3
12	CANTIDAD DE VOLUMEN SOLICITADO		
	VOLUMEN	38	lt
	CEMENTO	14.3	kg
	AGUA	7.85	kg
	ARENA	11.9	kg
	AGUA EN LA ESPUMA	2.44	kg
	CANTIDAD DE ESPUMANTE	73.12	gr
	ADITIVO PLASTIFICANTE	0	gr
	PESO TOTAL	36.48	kg

Diseño de mezclas 1120 kg/m³ - Segunda Parte

DATOS PREVIOS

VOLUMEN	1.00	L
DENSIDAD HUMEDA REQUERIDA	1120	kg/m ³
RENDIMIENTO DE LA ESPUMA	75.00%	
CONCENTRADO DE ESPUMANTE	3.00%	
PLASTIFICANTE	0.00%	
DENISDAD DE LA ESPUMA	120	kg/m ³
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	3	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	2.55	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	1	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE LA ARENA	3.90%	
HUMEDAD DE LA ARENA	1.83%	

DISEÑO

1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TEÓRICA		
	$f_c = 0.34 * e^{0.0022 * 1120}$	40.75	kg/cm ²
2	RELACIÓN AGUA/CEMENTO - ASUMIR		
	W/c	0.77	
3	RELACIÓN ARENA/CEMENTO		
	$s/c = (y_f - 673) / 345$	1.3	
4	RELACIÓN SECA AL HORNO		
	$D_s = (y_f - 122)$	998	kg/m ³
5	CEMENTO REQUERIDO		
	$C = y_f / (1 + w/c + s/c)$	365.34	kg/m ³
6	CANTIDAD DE ARENA		
	$S = C * s/c$	473.35	kg/m ³
7	CANTIDAD DE AGUA		
	$W = C * w/c$	281.31	kg/m ³
8	VOLUMEN ABSOLUTO DE SÓLIDOS		
	$V_a = C / (G_c * y_w) + W / (y_w) + S / (G_s * y_w)$	0.59	m ³
	$A_v = 1 - V_a$	0.41	m ³
9	VOLUMEN DE ESPUMA		
	$V_f = A_v / f_{yield}$	0.548475	m ³
	$F = V_f * y_f$	65.82	kg
10	AJUSTE DEL PESO DEL AGUA		
	AGUA EN LA ESPUMA	65.82	kg/m ³
	AGUA EN LA ARENA	-9.77	kg/m ³
	AGUA CORREGIDA	225.26	kg/m ³
	ARENA CORREGIDA	463.59	kg/m ³

11	PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA 1M3		
	CEMENTO	365.34	kg/m3
	AGUA	225.26	kg/m3
	ARENA	463.59	kg/m3
	ESPUMA	65.82	kg/m3
	PESO TOTAL	1120	kg/m3
12	CANTIDAD DE VOLUMEN SOLICITADO		
	VOLUMEN	38	lt
	CEMENTO	13.883	kg
	AGUA	8.56	kg
	ARENA	17.616	kg
	AGUA EN LA ESPUMA	2.501	kg
	CANTIDAD DE ESPUMANTE	75.031	gr
	ADITIVO PLASTIFICANTE	0	gr
	PESO TOTAL	42.56	kg

Diseño de mezclas 1280 kg/m3 - Segunda Parte

DATOS PREVIOS

VOLUMEN	1.00	L
DENSIDAD HUMEDA REQUERIDA	1280	kg/m3
RENDIMIENTO DE LA ESPUMA	60.00%	
CONCENTRADO DE ESPUMANTE	3.00%	
PLASTIFICANTE	0.00%	
DENISDAD DE LA ESPUMA	120	kg/m3
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	3	gr/cm3
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	2.55	gr/cm3
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	1	gr/cm3
ABSORCIÓN DE LA ARENA	3.90%	
HUMEDAD DE LA ARENA	3.31%	

DISEÑO

1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TEÓRICA		
	$f_c = 0.34 \cdot e^{0.0022 \cdot 1280}$	57.95	kg/cm2
2	RELACIÓN AGUA/CEMENTO - ASUMIR		
	W/c	0.83	
3	RELACIÓN ARENA/CEMENTO		
	$s/c = (y_f - 673) / 345$	1.76	
4	RELACIÓN SECA AL HORNO		
	$D_s = (y_f - 122)$	1158	kg/m3
5	CEMENTO REQUERIDO		
	$C = y_f / (1 + w/c + s/c)$	356.6	kg/m3
6	CANTIDAD DE ARENA		
	$S = C \cdot s/c$	627.42	kg/m3
7	CANTIDAD DE AGUA		
	$W = C \cdot w/c$	295.98	kg/m3
8	VOLUMEN ABSOLUTO DE SÓLIDOS		
	$V_a = C / (G_c \cdot y_w) + W / (y_w) + S / (G_s \cdot y_w)$	0.66	m3
	$A_v = 1 - V_a$	0.34	m3
9	VOLUMEN DE ESPUMA		
	$V_f = A_v / f_{yield}$	0.565341	m3
	$F = V_f \cdot y_f$	67.84	kg
10	AJUSTE DEL PESO DEL AGUA		
	AGUA EN LA ESPUMA	67.84	kg/m3
	AGUA EN LA ARENA	-3.7	kg/m3
	AGUA CORREGIDA	231.84	kg/m3
	ARENA CORREGIDA	623.71	kg/m3

11	PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA 1M3		
	CEMENTO	356.6	kg/m3
	AGUA	231.84	kg/m3
	ARENA	623.71	kg/m3
	ESPUMA	67.84	kg/m3
	PESO TOTAL	1280	kg/m3
12	CANTIDAD DE VOLUMEN SOLICITADO		
	VOLUMEN	38	lt
	CEMENTO	13.551	kg
	AGUA	8.81	kg
	ARENA	23.701	kg
	AGUA EN LA ESPUMA	2.578	kg
	CANTIDAD DE ESPUMANTE	77.339	gr
	ADITIVO PLASTIFICANTE	0	gr
	PESO TOTAL	48.64	kg

Cálculos de las resistencias teóricas según el ACI

LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TEÓRICA			
$f_c = 0.34 * e^{0.0022 * 1120}$			
DENSIDAD	960	1120	1280
f_c (kg/cm²)	28.66	40.75	57.95

**Dimensionamiento y alabeo de bloques para densidades de 960 kg/m³, 1120 kg/m³ y 1280 kg/m³
– Segunda parte**

Densidad (kg/m³)	Código	Dimensiones (cm)			Alabeo (mm)
		Largo	Ancho	Alto	
960	C1-1	30.00	10.05	15.12	0.83
	C1-2	30.00	10.04	15.05	1.17
	C1-3	30.00	10.02	15.12	0.76
	C1-4	30.05	10.01	15.06	0.66
	C1-5	30.00	10.05	15.13	0.75
	C1-6	30.10	10.15	15.06	0.65
1120	C2-1	30.00	10.17	15.18	1.21
	C2-2	30.15	10.01	15.13	2.33
	C2-3	30.13	10.03	15.13	1.39
	C2-4	30.25	10.05	15.15	0.65
	C2-5	30.15	10.07	15.15	1.11
	C2-6	30.20	10.09	15.15	0.85
1280	C3-1	30.00	10.06	15.12	1.08
	C3-2	30.20	10.09	15.07	1.41
	C3-3	30.10	10.01	15.08	0.61
	C3-4	30.10	10.07	15.09	1.07
	C3-5	30.05	10.05	15.16	0.66
	C3-6	30.10	10.16	15.17	0.98

**RESULTADOS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS Y DE LA
ESPUMA**

Granulometría de la arena

El error en el ensayo granulométrico es del 0.16%, por debajo del error permitido del 2%. Ver imagen del ensayo en Anexos

Granulometría			Huso:		Arena manufacturada		
Tamiz	Diámetro del tamiz	Peso retenido (gr)	(%) Ret.	(%) Ret. Acum.	(%) Q' pasa	Mínimo	Máximo
1/2"	12.700	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 8	2.36	205.22	20.55	20.55	79.45	100	95
N° 16	1.18	140.62	14.08	34.64	65.36	100	70
N° 30	0.59	99.92	10.01	44.65	55.35	75	40
N° 50	0.297	134.62	13.48	58.13	41.87	40	20
N° 100	0.149	201.92	20.22	78.35	21.65	25	10
FONDO	0.000	216.12	21.65	100.00	0.00		
	SUMA	998.40	100.00				

12.6. Anexo 6

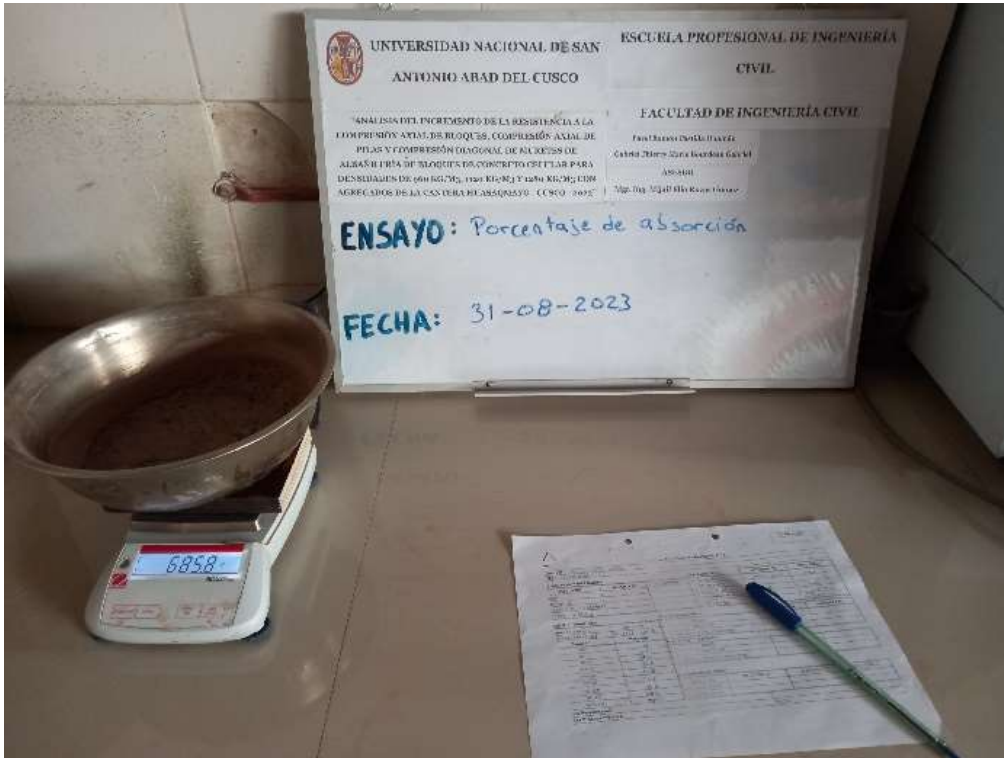
Tamizado de arena



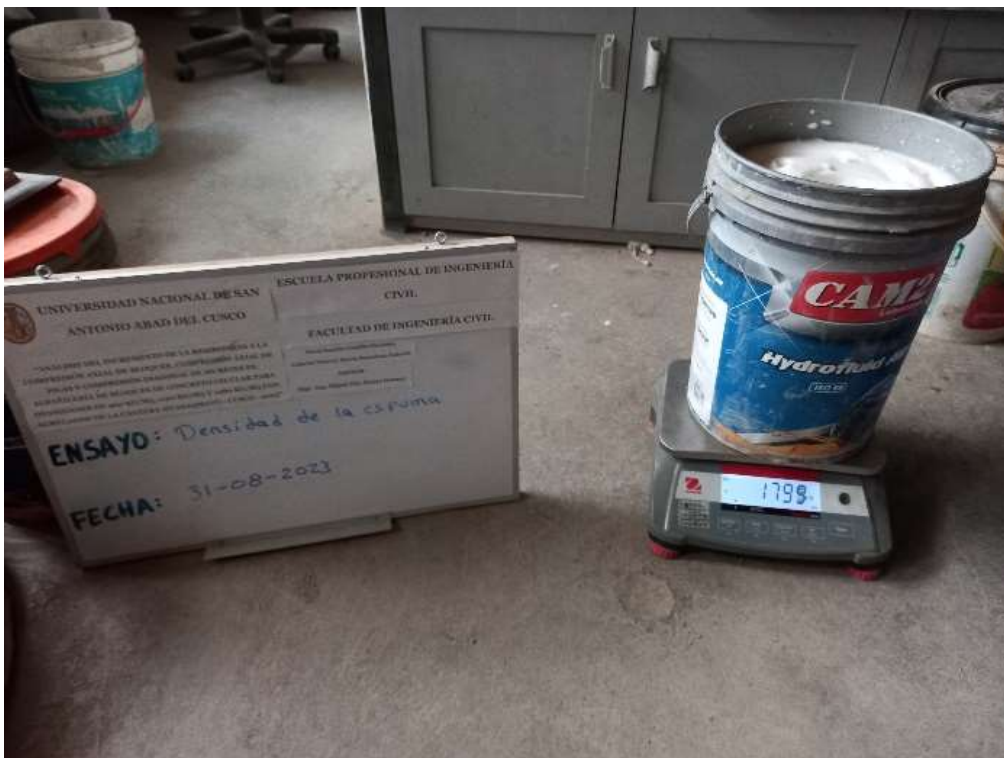
Cemento Yura tipo HE



Absorción de la arena



Densidad de la espuma



Elaboración de moldes



Preparación de concreto celular en trompo



Vaciado de concreto celular



Curado de bloques



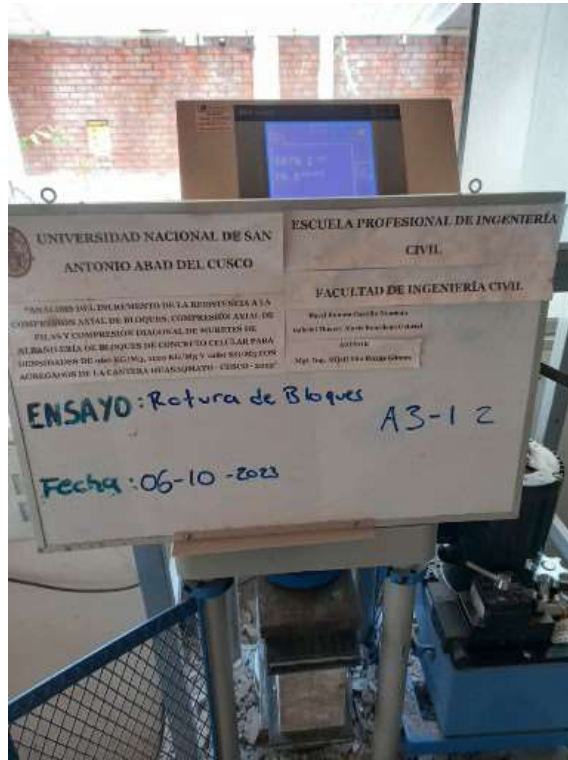
Ensayo de Dimensionamiento



Bloques curados listo para ensayar a compresión



Ensayo de compresión de bloques



Falla de bloque por ensayo a compresión



Formación interna de un bloque de densidad 960kg/m³ ensayado a compresión



Vaciado de bloques



Ensayo de compresión axial de bloques en la maquina universal



Ensayo de compresión axial de pilas en la maquina universal



Ensayo de compresión diagonal de muretes en el marco de carga. Falla por contracción diagonal



Marco de carga para rotura de muretes



Reacción del ácido clorhídrico con la parte interna de un bloque de concreto celular



Reacción del ácido clorhídrico con la parte externa de un bloque de concreto celular



12.7. Anexo 7

Certificado de uso de laboratorio Corporación Ayar S.A.C.



CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES

Mediante el presente, yo, ABEL AUCCA BARCENA, Gerente general de la empresa CORPORACION AYAR S.A.C. con RUC: 20450783456 deajo en constancia lo siguiente:

Los señores PAVEL RAMON CASTILLA HUAMAN, con DNI 48332611 y GABRIEL THIERRY MARIE BOURDEAU GABRIEL, con DNI 73074089, hicieron uso del "LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES" con el fin de realizar ensayos para la elaboración de la tesis titulada "ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE BLOQUES, COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS Y COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR PARA DENSIDADES DE 960 KG/M3, 1120 KG/M3 Y 1280 KG/M3 CON AGREGADOS DE LA CANTERA HUASAQMAYO - CUSCO - 2023" que será presentada en la Universidad Nacional de San Antonio Abal del Cusco.


Efectuaron 30 diseños para la elaboración de bloques de concreto celular y realizaron los siguientes ensayos:

Ensayo	Norma	Cantidad
Análisis granulométrico de agregado fino	NTP 400.012	01
Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 µm (Nº 200) por lavado	NTP 400.018	01
Contenido de humedad de agregado fino	NTP 339.185	01
Peso específico y absorción de agregado fino	NTP 400.022	01
Densidad de espuma	-	02
Resistencia a la compresión de bloques de concreto celular	NTP 399.604	270
Resistencia a la compresión de mortero	NTP 334.051	06

Se certifica el uso del "LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES" de la empresa CORPORACIÓN AYAR S.A.C. a solicitud de los interesados.

CORPORACION AYAR S.A.C.

Cusco, 15 de julio del 2024


Ing. Abel Aucca Barcena
GERENTE

Jr. Pisac A-17 Urb. Manuel Prado Teléfono: (084) 235370
WWW.AYAR.PE

Nota: Fuente Corporación Ayar S.A.C.

Certificado de uso de laboratorio UNSAAC



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
Av. de la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil



CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que los testistas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. PAVEL RAMON CASTILLA HUAMAN y Bach. GABRIEL THIERRY MARIE BOURDEAU GABRIEL, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE BLOQUES, COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS Y COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERIA DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR PARA DENSIDADES DE 960 KG/CM³, 1120 KG/CM³ Y 1280 KG/CM³ CON AGREGADOS DE LA CANTERA HUASAQMAYO – CUSCO - 2023".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto: Resistencia a la compresión	NTP 399.604	18
02	UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería	NTP 399.605	09
03	UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería	NTP 399.621	09

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 15 de julio del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales


Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio

Nota: Fuente Laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la facultad de ingeniería civil - UNSAAC.

Certificado de calibración de balanza electrónica - capacidad 300g



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INDUSTRIALES
DE LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC106 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Mzas

Página 1 de 4

1. Expediente	230180
2. Solicitante	CORPORACION AYAR S.A.C.
3. Dirección	Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	300 g
División de escala (d)	0,01 g
Div. de verificación (e)	0,01 g
Clase de exactitud	II
Marca	OHAUS
Modelo	TA302
Número de Serie	B420595346
Capacidad mínima	0,2 g
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES
5. Fecha de Calibración	2023-10-27
6. Fecha de Emisión	2023-10-31

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

JEFE DE LABORATORIO

Firmado
digitalmente por
Angel Perez
Fecha: 2023.10.31
14:51:24 -05'00'

Sello



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC106 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Mzta.

Página 2 de 4

7. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI, Cuarta Edición.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES
Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,0 °C	21,0 °C
Humedad Relativa	61 %	61 %



10. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud F1) DM-INACAL LM-C-313-2022	PESAS (Clase de Exactitud M1)	0158-MPES-2023

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

12. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOS	NO TIENE
		NIVELACIÓN	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	21,0 °C	21,0 °C

Medición N°	Carga L1 = 150,00 g			Carga L2 = 300,00 g		
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)
1	150,00	6,0	-1,0	300,00	6,0	-1,0
2	150,00	6,0	-1,0	300,00	5,0	0,0
3	150,00	5,0	0,0	300,00	6,0	-1,0
4	150,00	5,0	0,0	300,00	5,0	0,0
5	150,00	5,0	0,0	300,00	6,0	-1,0
6	150,00	6,0	-1,0	300,00	5,0	0,0
7	150,00	5,0	0,0	300,00	6,0	-1,0
8	150,00	5,0	0,0	300,00	5,0	0,0
9	150,00	5,0	0,0	300,00	6,0	-1,0
10	150,00	5,0	0,0	300,00	5,0	0,0
	Diferencia Máxima		1,0	Diferencia Máxima		1,0
	Error Máximo Permisible		± 20,0	Error Máximo Permisible		± 30,0

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	21,0 °C	21,0 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero E ₀				Determinación del Error Corregido E _c					
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	E _c (mg)	
1		0,10	5,0	0,0		100,00	5,0	0,0	0,0	
2		0,10	5,0	0,0		99,99	4,0	-9,0	-9,0	
3	0,10 g	0,10	5,0	0,0	100,00	100,00	5,0	0,0	0,0	
4		0,10	5,0	0,0		100,01	7,0	8,0	8,0	
5		0,10	5,0	0,0		100,00	5,0	0,0	0,0	
		Error máximo permisible							± 20,0	

* Valor entre 0 y 10e

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC106 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Maizta

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	21,0 °C	21,0 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				a.m.p.** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0,10	0,10	5,0	0,0	0,0	0,10	5,0	0,0	0,0	10,0
0,20	0,20	5,0	0,0	0,0	0,20	5,0	0,0	0,0	10,0
1,00	1,00	5,0	0,0	0,0	1,00	6,0	-1,0	-1,0	10,0
10,00	10,00	5,0	0,0	0,0	10,00	6,0	-1,0	-1,0	10,0
20,00	20,00	6,0	-1,0	-1,0	20,00	5,0	0,0	0,0	10,0
50,00	50,00	5,0	0,0	0,0	50,00	5,0	0,0	0,0	10,0
100,00	100,00	5,0	0,0	0,0	100,00	5,0	0,0	0,0	20,0
150,00	150,00	5,0	0,0	0,0	150,00	6,0	-1,0	-1,0	20,0
200,00	200,00	6,0	-1,0	-1,0	200,00	6,0	-1,0	-1,0	20,0
250,00	250,00	6,0	-1,0	-1,0	250,00	6,0	-1,0	-1,0	30,0
300,00	300,01	7,0	8,0	8,0	300,01	7,0	8,0	8,0	30,0

** error máximo permisible



Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza ΔL: Carga adicional E₀: Error en cero
 l: Indicación de la balanza E: Error encontrado E_c: Error corregido

Lectura corregida $R_{correctada} = R + 0,00000366 \cdot R$

Incertidumbre expandida de medición $U = 2k \sqrt{0,00002 \text{ g}^2 + 0,000000000954 \cdot R^2}$

13. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

Certificado de calibración de balanza electrónica - capacidad 6 000g



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C.
Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medidas Industriales,
de Laboratorio e Ingeniería Civil.

RUC: 2020778892

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC105 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	230180	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	CORPORACION AYAR S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	6000 g	
División de escala (d)	0,1 g	
Div. de verificación (e)	0,1 g	
Clase de exactitud	II	
Marca	OHUAS	
Modelo	SE6001F	
Número de Serie	B413527373	
Capacidad mínima	5 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES	
5. Fecha de Calibración	2023-10-27	
6. Fecha de Emisión	2023-10-31	

JEFE DE LABORATORIO

Firmado digitalmente por
Angel Perez
Fecha: 2023.10.31
14:50:01 -05'00'

Sello



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C.
AV. PALMERAS 5525 - LOS OLIVOS - LIMA
TEL.: 988 720 9511 913 190 074

EMAIL: VENTAS@METCAL.PE
ADMINISTRACION@METCAL.PE
WEB: WWW.METCAL.PE

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC105 - M - 2023***Metrología & calibración*
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

7. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES
Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,7 °C	20,7 °C
Humedad Relativa	60 %	60 %

**10. Patrones de referencia**

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud F1) DM-INACAL: LM-C-313-2022	PESAS (Clase de Exactitud M1)	0158-MPES-2023
PESAS (Clase de exactitud F1) DM-INACAL: LM-C-336-2022	PESAS (Clase de Exactitud M1)	0062-MPES-C-2023

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC105 - M - 2023

 Metrología & calibración
 Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

12. Resultados de Medición
INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	20,7 °C	20,7 °C

Medición Nº	Carga L1 = 3 000,0 g			Carga L2 = 6 000,0 g			
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	60,0	-10,0	
2	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	60,0	-10,0	
3	3 000,0	60,0	-10,0	6 000,0	50,0	0,0	
4	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	60,0	-10,0	
5	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	70,0	-20,0	
6	3 000,0	60,0	-10,0	6 000,0	60,0	-10,0	
7	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	60,0	-10,0	
8	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	70,0	-20,0	
9	3 000,0	50,0	0,0	6 000,0	60,0	-10,0	
10	3 000,0	40,0	10,0	6 000,0	60,0	-10,0	
Diferencia Máxima			20,0	Diferencia Máxima			20,0
Error Máximo Permisible			$\pm 300,0$	Error Máximo Permisible			$\pm 300,0$

ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

 Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	20,7 °C	20,7 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	1,0 g	1,0	50,0	0,0	2 000,0	2 000,0	50,0	0,0	0,0
2		1,0	50,0	0,0		1 999,9	40,0	-90,0	-90,0
3		1,0	50,0	0,0		2 000,0	50,0	0,0	0,0
4		1,0	50,0	0,0		2 000,1	60,0	90,0	90,0
5		1,0	50,0	0,0		2 000,0	50,0	0,0	0,0
Error máximo permisible									$\pm 200,0$

* Valor entre 0 y 10e

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC105 - M - 2023

 Metrología & calibración
 Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	20,7 °C	20,7 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
1,0	1,0	40,0	10,0						
2,0	2,0	40,0	10,0	0,0	2,0	50,0	0,0	-10,0	100,0
50,0	50,0	50,0	0,0	-10,0	50,0	60,0	-10,0	-20,0	100,0
100,0	100,0	60,0	-10,0	-20,0	100,0	50,0	0,0	-10,0	100,0
500,0	500,0	50,0	0,0	-10,0	500,0	50,0	0,0	-10,0	100,0
1 000,0	1 000,0	60,0	-10,0	-20,0	1 000,0	50,0	0,0	-10,0	200,0
2 000,0	2 000,0	50,0	0,0	-10,0	2 000,0	50,0	0,0	-10,0	200,0
3 000,0	3 000,0	50,0	0,0	-10,0	3 000,0	60,0	-10,0	-20,0	300,0
4 000,0	4 000,0	60,0	-10,0	-20,0	4 000,0	50,0	0,0	-10,0	300,0
5 000,0	5 000,0	50,0	0,0	-10,0	5 000,0	60,0	-10,0	-20,0	300,0
6 000,0	6 000,0	70,0	-20,0	-30,0	6 000,0	70,0	-20,0	-30,0	300,0

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza ΔL: Carga adicional E_c: Error en cero.
 l: Indicación de la balanza E: Error encontrado E_c: Error corregido.



Lectura corregida $R_{CORREGIDA} = R + 0,00000404 R$

Incertidumbre expandida de medición $U = 2 \times \sqrt{0,00171^2 g^2 + 0,00000000238 R^2}$

13. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

Certificado de calibración de balanza electrónica - capacidad 30 000g



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C.
Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Normalizados
 de LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL

RUC: 2040775893

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC107 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Masa

Página 1 de 4

1. Expediente	230180	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	CORPORACION AYAR S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Písac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	30 000 g	
División de escala (d)	1 g	
Div. de verificación (e)	10 g	
Clase de exactitud	III	
Marca	OHAUS	
Modelo	R31P30	
Número de Serie	8336030047	
Capacidad mínima	20 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES	
5. Fecha de Calibración	2023-10-27	
6. Fecha de Emisión	2023-10-31	

JEFE DE LABORATORIO:

Firmado digitalmente por
 Angel Perez
 Fecha:
 2023.10.31
 14:52:49 -05'00'

Sello



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC107 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Masa

Página 2 de 4

7. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019: "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IIIb" del INACAL-DM.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES
Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	21,2	21,2
Humedad Relativa (%)	61	61



10. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-313-2022	Pesas (exactitud M1)	0158-MPES-2023
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-336-2022	Pesa (exactitud M1)	0062-MPES-C-2023
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-337-2022	Pesa (exactitud M1)	0118-MPES-C-2023
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-338-2022	Pesa (exactitud M2)	0119-MPES-C-2023

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC107 - M - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Masa

Página 3 de 4

12. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	21,2 °C	21,2 °C

Medición Nº	Carga L1 = 15 000,0 g			Carga L2 = 30 000,0 g			
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	
1	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0	
2	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0	
3	15 000	0,5	0,0	30 000	0,6	-0,1	
4	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0	
5	15 000	0,5	0,0	30 000	0,6	-0,1	
6	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,7	-0,2	
7	15 000	0,5	0,0	30 000	0,6	-0,1	
8	15 000	0,5	0,0	30 000	0,6	-0,1	
9	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0	
10	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,7	-0,2	
Diferencia Máxima			0,1			Diferencia Máxima	0,2
Error Máximo Permisible			± 20,0			Error Máximo Permisible	± 30,0

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

2	3
1	
3	4

Posición de las cargas

	Inicial	Final
Temperatura	21,2 °C	21,2 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga (L)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	10,0 g	10	0,5	0,0	10 000,0 g	10 000	0,5	0,0	0,0
2		10	0,5	0,0		10 001	0,6	0,9	0,9
3		10	0,5	0,0		10 000	0,5	0,0	0,0
4		10	0,5	0,0		9 999	0,4	-0,9	-0,9
5		10	0,5	0,0		10 000	0,6	-0,1	-0,1
					Error máximo permisible				± 20,0

* Valor entre 0 y 10g.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC107 - M - 2023

Metrología & calibración
 Laboratorio de Masa

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	21,2 °C	21,2 °C

Carga L (g)	CARGA CRECIENTE				CARGA DECRECIENTE				s.e.m.p (g)**
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
10,0	10	0,6	-0,1						
20,0	20	0,5	0,0	0,1	20	0,6	-0,1	0,0	10,0
100,0	100	0,6	-0,1	0,0	100	0,6	-0,1	0,0	10,0
500,0	500	0,6	-0,1	0,0	500	0,5	0,0	0,1	10,0
1 000,0	1 000	0,6	-0,1	0,0	1 000	0,5	0,0	0,1	10,0
5 000,0	5 000	0,5	0,0	0,1	5 000	0,6	-0,1	0,0	10,0
10 000,1	10 000	0,6	-0,1	0,0	10 000	0,6	-0,1	0,0	20,0
15 000,0	15 000	0,5	0,0	0,1	15 000	0,7	-0,2	-0,1	20,0
20 001,3	20 000	0,8	-1,6	-1,5	20 001	0,6	-0,4	-0,3	20,0
25 001,3	25 001	0,5	-0,3	-0,2	25 001	0,6	-0,4	-0,3	30,0
30 001,4	30 001	0,7	-0,5	-0,4	30 001	0,7	-0,5	-0,4	30,0

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza
 l: Indicación de la balanza

ΔL: Carga adicional
 E: Error encontrado

E₀: Error en cero
 E_c: Error corregido



LECTURA CORREGIDA : $R_{CORREGIDA} = R + 1,53 \times 10^{-4} \times R$

INCERTIDUMBRE : $U = 2 \times \sqrt{2,93 \times 10^{-11} g^2 + 9,38 \times 10^{-10} \times R^2}$

13. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Certificado de calibración - Prensa de concreto



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INDUSTRIALES
DE LABORATORIOS E INDUSTRIA CIVIL

Metrología & calibración
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC085 - F - 2023

Página 1 de 3

1. Expediente	230180	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	CORPORACION AYAR S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	100000 kgf	
Marca	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	36-0690/06	
Número de Serie	130500076	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	ADR-TOUCH	
Número de Serie	1887-1-00116	
Resolución	1 kgf	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES	
5. Fecha de Calibración	2023-10-27	
6. Fecha de Emisión	2023-10-31	

Jefe del Laboratorio

Firmado digitalmente por
Angel Perez
Fecha: 2023.10.31
14:43:49 -05'00'

Sello



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC085 - F - 2023

Metrología & calibración

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

7. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticas. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES
Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	19,4 °C	19,4 °C
Humedad Relativa	58 % HR	58 % HR



10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2020-1 87747 / 2021-1 95857	Celda de carga calibrado a 1500 kN	LEDI-PUCP INF-LE 014-23A

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC085 - F - 2023

Metrología & calibración
 Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 2

12. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso)				$F_{promedio}$ (kgf)
%	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	F_4 (kgf)	Patrón de Referencia	
10	10000,0	10008,0	10000,0	10004,0	10004,0	10004,0
20	20000,0	19994,0	20000,0	20002,0	19998,7	19998,7
30	30000,0	30000,0	29996,0	30006,0	30000,7	30000,7
40	40000,0	40014,0	40006,0	40012,0	40010,7	40010,7
50	50000,0	50018,0	50020,0	50022,0	50019,3	50019,3
60	60000,0	60032,0	60042,0	60044,0	60039,3	60039,3
70	70000,0	70046,0	70052,0	70054,0	70050,7	70050,7
80	80000,0	80058,0	80056,0	80066,0	80060,0	80060,0
90	90000,0	90060,0	90063,0	90070,0	90064,3	90064,3
100	100000,0	100085,0	100080,0	100096,0	100087,0	100087,0
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0		

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa s (%)	
10000,0	-0,04	0,08	—	0,01	0,16
20000,0	0,01	0,04	—	0,01	0,16
30000,0	0,00	0,03	—	0,00	0,16
40000,0	-0,03	0,02	—	0,00	0,16
50000,0	-0,04	0,01	—	0,00	0,16
60000,0	-0,07	0,02	—	0,00	0,16
70000,0	-0,07	0,01	—	0,00	0,16
80000,0	-0,07	0,01	—	0,00	0,16
90000,0	-0,07	0,01	—	0,00	0,16
100000,0	-0,09	0,02	—	0,00	0,16

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (t_0) 0,00 %



13. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Certificado de calibración - Horno de 0°C a 200°C



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDIDA INDUSTRIALES,
DE LABORATORIOS E INSTRUMENTALES.

RUC: 2060797898

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC061 - T - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 8

1. Expediente	230180
2. Solicitante	CORPORACION AYAR S.A.C.
3. Dirección	Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO
4. Equipo	HORNO
Alcance Máximo	De 0 °C a 200 °C
Marca	PINZUAR
Modelo	PG-190
Número de Serie	186
Procedencia	COLOMBIA
Identificación	NO INDICA.
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	0 °C a 200 °C	0 °C a 200 °C
División de escala / Resolución	1 °C	1 °C
Tipo	CONTROLADOR DIGITAL	TERMÓMETRO DIGITAL

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

5. Fecha de Calibración	2023-10-27
6. Fecha de Emisión	2023-10-31

JEFE DE LABORATORIO

Firmado digitalmente por Angel Perez
Fecha:
2023.10.31
14:42:17 -05'00'

Sello



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC061 - T - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 8

7. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa de acuerdo al PC-018 "Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con Aire como Medio Termostático", 2da edición, publicado por el SNM-INDECOPI, 2009.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES

Jr. Pisac Mza. A Lote. 17 Urb. Manuel Prado Cusco - Cusco - CUSCO

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,3 °C	20,3 °C
Humedad Relativa	60 %	60 %

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de 120 min minutos.
El controlador se seleo en 100 °C



10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o informe de calibración
LABORATORIO ACREDITADO PESATEC LT-249-2022	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 12 CANALES	0006-TPES-C-2023

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- (*) Código indicado en una etiqueta adherido al equipo.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC061 - T - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Página 7 de 8

12. Resultados de Medición

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T _{prom} (°C)	T _{max} -T _{min}
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110,0	110,6	108,5	110,9	109,6	111,2	112,9	112,6	113,8	110,5	113,9	113,2	5,3
02	110,0	110,3	108,3	110,8	109,6	111,2	112,7	112,6	113,7	110,8	111,7	111,2	5,4
04	110,0	110,3	108,4	110,9	109,6	111,1	112,6	112,7	113,8	110,8	111,7	111,2	5,4
06	110,0	110,3	108,3	110,8	109,8	111,2	112,7	112,7	113,8	110,9	111,8	111,2	5,5
08	110,0	110,3	108,3	110,8	109,8	111,2	112,6	112,8	113,8	110,8	111,9	111,2	5,5
10	110,0	110,4	108,6	110,8	109,8	111,1	112,6	112,8	113,7	110,8	111,8	111,2	5,1
12	110,0	110,4	108,6	110,6	109,8	111,2	112,6	112,8	113,8	110,8	111,9	111,2	5,2
14	110,0	110,4	108,8	110,9	109,8	111,2	112,6	112,9	113,8	110,8	111,8	111,3	5,0
16	110,0	110,4	108,8	110,9	109,7	111,2	112,6	112,8	113,8	110,9	111,8	111,3	5,0
18	110,0	110,4	108,7	110,9	109,8	111,1	112,7	112,8	113,7	110,9	111,9	111,3	5,0
20	110,0	110,4	108,7	111,0	109,7	111,2	112,7	112,8	113,7	110,9	111,9	111,3	5,0
22	110,0	110,5	108,6	110,6	109,8	111,0	112,7	112,8	113,8	110,9	111,9	111,2	5,2
24	110,0	110,6	108,7	110,5	109,7	111,2	112,7	112,6	113,7	110,8	111,8	111,2	5,0
26	110,0	110,6	108,9	110,7	109,8	111,2	112,8	112,6	113,7	110,9	111,8	111,3	4,8
28	110,0	110,5	108,7	110,6	109,7	111,2	112,8	112,6	113,7	110,9	111,8	111,2	5,0
30	110,0	110,5	108,7	110,7	109,7	111,4	112,8	112,8	113,8	110,9	111,9	111,3	5,1
32	110,0	110,5	108,7	110,6	109,7	111,4	112,7	112,8	113,7	110,9	111,9	111,3	5,0
34	110,0	110,4	108,8	110,7	109,8	111,3	112,7	112,8	113,6	110,8	111,8	111,3	4,8
36	110,0	110,4	108,8	110,9	109,9	111,4	112,8	112,9	113,7	110,9	112,0	111,4	4,9
38	110,0	110,3	108,8	110,8	109,7	111,3	112,9	112,9	113,7	110,9	111,9	111,3	4,9
40	110,0	110,4	108,8	110,8	109,8	111,4	112,9	112,8	113,7	110,9	111,9	111,3	4,9
42	110,0	110,3	108,6	110,9	109,8	111,5	112,9	112,8	113,8	110,9	111,9	111,3	5,2
44	110,0	110,3	108,6	110,8	109,8	111,5	112,7	112,8	113,8	110,8	111,9	111,3	5,2
46	110,0	110,4	108,7	110,8	109,8	111,4	112,7	112,7	113,7	110,8	111,7	111,3	5,0
48	110,0	110,4	108,7	110,8	109,8	111,4	112,9	112,7	113,7	110,8	111,8	111,3	5,0
50	110,0	110,3	108,8	110,7	109,7	111,3	112,9	112,8	113,8	110,8	111,9	111,3	5,0
52	110,0	110,6	108,8	110,7	109,8	111,4	112,9	112,8	113,7	110,8	111,9	111,3	4,9
54	110,0	110,6	108,6	110,8	109,8	111,4	112,9	112,9	113,7	110,8	111,9	111,3	5,1
56	110,0	110,5	108,6	110,7	109,8	111,4	112,9	112,9	113,8	110,8	112,1	111,3	5,2
58	110,0	110,5	108,8	110,9	109,6	111,2	112,8	112,8	113,7	111,1	112,1	111,3	4,9
60	110,0	110,5	108,8	110,7	109,7	111,1	112,8	112,9	113,8	111,1	112,1	111,3	5,0
T.PROM	110,0	110,4	108,6	110,7	109,7	111,2	112,8	112,8	113,7	110,8	111,8	111,3	
T.MAX	110,0	110,6	108,9	111,0	109,9	111,5	112,9	112,9	113,8	111,1	112,1		
T.MIN	110,0	110,3	108,3	110,5	109,6	111,0	112,6	112,6	113,6	110,5	111,7		
DTI	0,0	0,3	0,6	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,6	0,4		



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC061 - T - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Página 4 de 8

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	113,8	0,2
Mínima Temperatura Medida	108,3	0,2
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,8	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	5,1	0,2
Estabilidad Medida (±)	0,3	0,04
Uniformidad Medida	5,5	0,2

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX : Temperatura máxima.
T.MIN : Temperatura mínima.
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0,58 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ DTT.

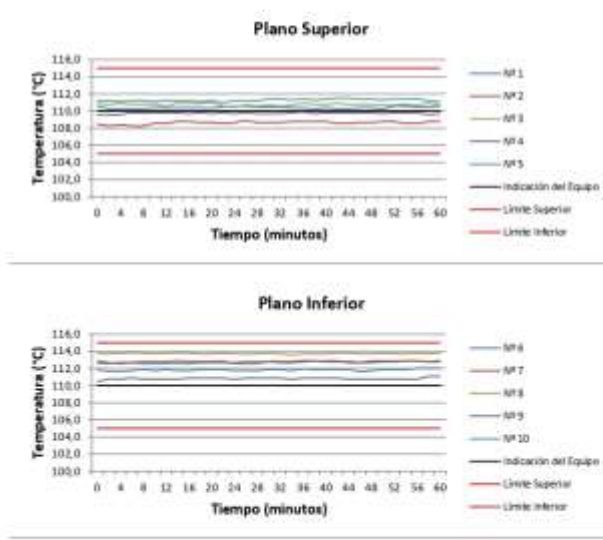


CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC061 - T - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Página 5 de 8

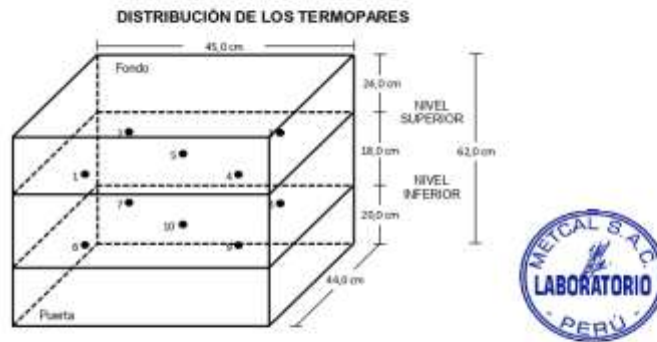
DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 5 °C



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC061 - T - 2023

Metrología & calibración
Laboratorio de Temperatura

Figura 0 de 0



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

13. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento

Ficha técnica cemento Yura tipo HE



DESCRIPCIÓN

El cemento Industrial de Ultra Resistencia Inicial Yura HE es un cemento hidráulico de última generación, elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker Tipo I de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura.

La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado ISO 9001, de gestión ambiental ISO 14001 y de gestión de la seguridad y salud en el trabajo ISO 45001, asegurando un alto estándar de calidad.



La composición de este producto permite la producción de concretos con requerimientos de altas resistencias iniciales, otorgando propiedades adicionales para lograr alta durabilidad por lo que puede ser utilizado en obras de infraestructura y construcción en general.

SOSTENIBILIDAD

Somos la primera cementera en conseguir 2 estrellas en la certificación de Huella de Carbono otorgada por el Ministerio del Ambiente.

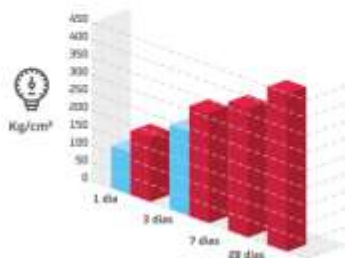
Certificación de "Huella de Carbono Perú" Nivel 2 por calcular y verificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero utilizando la herramienta Huella de Carbono Perú

Yura también ha recibido el certificado "Quality Carbon Footprint" que evidencia el cálculo de la Huella de Carbono Producto, de tres de nuestros tipos de cemento, cumpliendo los estándares reconocidos internacionalmente.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS	UNIDAD	Requisitos Norma Técnica Peruana 334.082-2020 y Norma Americana ASTM C1157/C1157M-20 CEMENTO TIPO HE		CEMENTO YURA INDUSTRIAL
				TIPO HE
Densidad	g/cm ³	-	-	2,9 a 3,1
Expansión en Autoclave	%	máximo 0,80	-	-0,05 a 0,07
Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420	-	110 a 230
Contenido de aire	%	máximo 12	-	3 a 9
Expansión de la barra de mortero a 14 días	%	máximo 0,020	-	<0,020
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
1 día	kgf/cm ²	mínimo 122	-	130 a 170
3 días	kgf/cm ²	mínimo 245	-	250 a 310
7 días	kgf/cm ²	-	-	290 a 360
28 días	kgf/cm ²	-	-	400 a 450



COMPARACIÓN RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN:

CEMENTO YURA INDUSTRIAL TIPO HE VS REQUISITOS NORMAS TÉCNICAS NTP 334.082



PROPIEDADES

EL CEMENTO INDUSTRIAL YURA TIPO HE - ULTRA RESISTENCIA INICIAL por su formulación especial, proporciona al concreto las siguientes propiedades:

- Alta resistencia inicial.
- Aumento de impermeabilidad.
- Menor calor de hidratación.
- Mayor plasticidad y trabajabilidad en concretos.

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor consumo energético.
- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Botas impermeables



Protección respiratoria



Guantes impermeables



Protección ocular

RECOMENDACIONES DE USO

- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener humectada la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/ingeniero civil.

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:



- Almacenar en recinto seco, bajo techo, separado de piso y paredes, protegido de la intemperie.



- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.



- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.



- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

PRESENTACIONES DISPONIBLES

BOLSAS DE 42.5 KG

Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.

BIG BAG 1.5 TM

Para proyectos medianos y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.

GRANEL

Abastecido en bombonas para descargar en silos y cintaroleros.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAÍS	NORMA	DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.082	Cemento Hidráulico de Alta Resistencia Inicial	TIPO HE
NORMA CHILENA OFICIAL	NCh 340.0F 68	Cemento Portland Pozolánico	GRADO ALTA RESISTENCIA
NORMA AMERICANA	ASTM C 1157	Hydraulic Cement High Early-Strength	TYPE HE
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Portland con Pozolana	TIPO P40
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 2380	Cemento Hidráulico de Alta Resistencia Inicial	TIPO HE
NORMA COLOMBIANA	NTC 121	Cemento Hidráulico de Alta Resistencia Temprana	TIPO AHT
NORMA BRASILEIRA	NBR 16687	Cemento Portland Pozolánico	TIPO CP IV - 32



EL CEMENTO YURA INDUSTRIAL TIPO HE es un cemento Hidráulico de Alta Resistencia Inicial, que cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 334.082 y la Norma Americana ASTM C1157, según lo señalado en el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General (D5 N° 001-2022-PRODUCE)

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la Fecha de Fabricación, utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de la Fecha Recomendada de Uso que se indica en el envase.



Cuidemos juntos el MEDIO AMBIENTE.

Big Bag:
Se sugiere reciclar el envase

Bolsas:
Se sugiere reciclar el envase



YURA S.A. RUC: 20312372895
Planta: Carretera a Yura km. 26 (Estación Yura)
 Yura - Arequipa
Tel.: (054) 49 5060
www.yura.com.pe

 /CementoYuraPeru

HECHO EN PERÚ



Ficha técnica pegamento flexible SikaCeram

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaCeram® Blanco Flexible

Adhesivo cementicio para la colocación de baldosas de baja absorción.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCeram® Blanco Flexible es un adhesivo cementicio flexible de altas prestaciones para la colocación de baldosas de baja absorción y baldosas en general en interiores y exteriores.

USOS

SikaCeram® Blanco Flexible es adecuado para el pegado de los siguientes tipos de baldosas:

- Mármol
- Piedra Natural
- Gres Porcelánico
- Granitos
- Porcelanatos
- Cerámicos
- Terrazos
- Pepelmas

SikaCeram® Blanco Flexible se usa sobre los siguientes sustratos:

- Superficies rígidas: Mortero, concreto (Frotachado, rayado o pulido), ladrillo.
- Superficies flexibles: Paneles de yeso (sistema Drywall) y paneles de fibrocemento.
- Sustratos que sean lisos sin porosidad como sobre pisos de cerámico o porcelanato.

SikaCeram® Blanco Flexible puede usarse en los siguientes casos:

- Paredes y pisos en interiores y exteriores.
- A partir de los 2 metros de altura y con baldosas de grandes formatos utilizar anclajes mecánicos.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- No escurre.
- No requiere tarrajeo rayado.

- Fácil aplicación y trabajabilidad.

- Excelente adherencia tanto en interiores como en exteriores.

- No requiere que se humedezcan o saturen las piezas a adherir ni el sustrato.

CERTIFICADOS / NORMAS

USGBC VALORACIÓN LEED

SikaCeram® Blanco Flexible cumple con los requerimientos LEED.

Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.

Contenido de VOC < 65 g/L (menos agua)

NORMA EN 12004: CLASIFICACIÓN

SikaCeram® Blanco Flexible: C2TE

C:Cementicio

Clase 2: Adhesivo Mejorado > 1 N/mm²

T: Deslizamiento Reducido < 0,5 mm

E: Tiempo abierto ampliado > 0,5 N/mm²

Nota: Datos emitidos por el laboratorio de Sika Perú S.A.C

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Mortero cementicio modificado con polímeros.
Empaques	Bolsa x 25 Kg
Apariencia / Color	ASPECTO Polvo color Blanco
Vida Útil	año
Condiciones de Almacenamiento	Se almacena correctamente en su envase original no deteriorado, cerrado y sellado, en lugar fresco y seco sobre parihuelas (pallets) de madera. Para su transporte, deben tomarse las precauciones normales para productos químicos.
Densidad	1,91 kg/L aprox.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Resistencia a la Adherencia > 1,2 N/mm² ≈ 12 kg/cm² a 25° C y a una H.R. 50%.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Proporción de la Mezcla	25Kg por 5 a 6 litros de agua
Consumo	Una bolsa de 25 kg rinde aproximadamente de 4 a 5 m ² aplicado con llana dentada de 8 mm con una técnica de simple encolado, en doble encolado el rendimiento es de 3 a 4 m ² aproximadamente.
Temperatura del Ambiente	+ 5 °C mín. / + 25 °C máx.
Temperatura del Sustrato	+ 5 °C mín. / + 25 °C máx.
Tiempo Abierto	> 30 min a 25° C y a una H.R. 50%.
Tiempo de Ajuste	minutos a 25° C y a una H.R. 50%.

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

CALIDAD DEL SUSTRATO PRE-TRATAMIENTO

- El sustrato debe estar nivelado, sano, compacto, limpio y exento de polvo, suciedad, lechadas superficiales, restos de desencofrantes y de otras sustancias extrañas que impidan la adherencia.
- Si el sustrato presenta irregularidades o cangrejas, se debe reparar con morteros de reparación tipo Sika Rep® o con un mortero in-situ mejorado con Sika Latex®. Dejar pasar entre 24 y 48 horas antes de colocar las piezas cerámicas.
- El desnivel máximo del sustrato debe ser menor a 5 mm.

- Finalmente, asentar las baldosas una por una ejerciendo fuerte presión para asegurar el contacto con el pegamento.
- Luego de las 48 horas aplicar Sika® Porcelana o SikaCeram® -610 Frágüe.

SikaCeram® Blanco Flexible se aplica usando la llana dentada sobre el sustrato. Elegir una llana que deje el espesor adecuado en el reverso de la baldosa.

Tamaño de baldosa	Llana recomendada
20 x 20 cm	6 x 6 mm
40 x 40 cm	8 x 8 mm
60 x 60 cm	10 x 10 mm
Baldosas a partir de 30x30cm	Utilizar la técnica del doble encolado (*)

*Simple encolado: El adhesivo se extiende únicamente sobre el sustrato.

Doble Encolado: El adhesivo se extiende sobre el sustrato y la pieza.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpiar todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después del uso. El material una vez endurecido solo se podrá eliminar mecánicamente.

LIMITACIONES

Las fallas de adherencia, pueden producirse por las siguientes causas:

- Sustrato sin resistencia.
- Pérdida de agua entre el adhesivo y la baldosa.
- Tránsito peatonal antes de las 24 horas.
- Exceso de dosificación de agua en la mezcla.
- Secado superficial de la mezcla aplicada por exceso de las corrientes de aire y de los tiempos de oreo.

IMPORTANTE

- No enchapar en condiciones climatológicas extremas (altas temperaturas, riesgos de heladas, lluvias o vientos fuertes).
- Los sustratos cementicios deben tener al menos 28 días de edad para pegar las baldosas.
- Aplicar solo en sustratos sanos y preparados.
- Si la temperatura es mayor a 30° C humedecer el sustrato antes de enchapar.

Hoja De Datos Del Producto
SikaCeram® Blanco Flexible
Septiembre 2020, Versión 01.03
021710102000000079

- En caso de secado superficial de la mezcla aplicada, retirar lo aplicado y no volver a mezclar con el resto del pegamento.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

SikaCeramBlancoFlexible-es-PE-(09-2020)-1-3.pdf

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Nota: Fuente per.sika.com

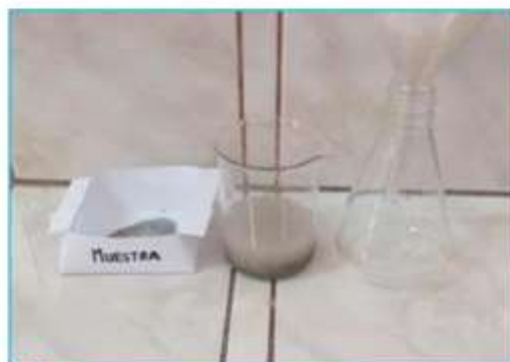


INFORME N° 08-0524

ENSAYOS DE CALIDAD DE AGREGADOS

PROYECTO

“CONCRETO PREMEZCLADO”



SOLICITANTE : PREMEZCLADOS Y MAQUINARIAS CUSCO SAC

MUESTRA : AGREGADO GRUESO Y FINO

CANTERA : HUASAC MAYU

UBICACIÓN : VILCABAMBA, CAICAY, PAUCARTAMBO, CUSCO

FECHA : 10 de Junio de 2024


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

ÍNDICE

1. OBJETIVOS	4
2. NORMA APLICADA AL PRESENTE ESTUDIO.....	4
3. RESULTADOS.....	5
3.1. Resultados agregado grueso	5
3.2. Resultados agregado fino	6
4. OBSERVACIÓN	7
5. CÁLCULOS DE LABORATORIO	7
5.1. CÁLCULOS AGREGADO GRUESO.....	7
5.1.1. Pérdida por Sulfatos de Sodio Na_2SO_4	7
5.1.2. Pérdida por Sulfatos de Magnesio Mg_2SO_4	8
5.1.3. Carbón Lignito.....	8
5.1.4. Sulfatos.....	9
5.1.5. Cloruros	9
5.1.6. Azul de metileno.....	10
5.1.7. Reactividad agregado / álcali - Oxido de Silicio.....	11
5.1.8. Horsteno.....	12
5.2. CÁLCULOS AGREGADO FINO	12
5.2.1. Pérdida por Sulfatos de Sodio Na_2SO_4	12
5.2.2. Pérdida por Sulfatos de Magnesio Mg_2SO_4	13
5.2.3. Carbón Lignito.....	13
5.2.4. Sulfatos.....	14
5.2.5. Cloruros	15
5.2.6. Azul de metileno.....	15
5.2.7. Reactividad agregado / álcali - Oxido de Silicio.....	16
5.2.8. Horsteno.....	17
6. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	17


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

 980 978796  RUC: 20612130371  mz.project.2401@gmail.com

1. OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es identificar de manera cualitativa y cuantitativa las propiedades de calidad de agregado grueso y fino de las muestras de la cantera de **Vilcabamba**, empleando ensayos establecidos según la Norma Técnica Peruana y el manual de ensayos de materiales del MTC.

2. NORMA APLICADA AL PRESENTE ESTUDIO

- **NTP 400.016:** Determinación de La Inalterabilidad de Los Agregados Por Medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio.
- **NTP 400.023:** Método de ensayo para determinar las partículas livianas en los agregados.
- **NTP 400.042:** Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles.
- **AASHTO TP-57:** Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales
- **MTC E217:** Determinación de la reactividad agregado / álcali.

MZ PROJECT
LABORATORY



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

3. RESULTADOS

3.1. Resultados agregado grueso

ENSAYO	UNIDAD	A GRUESO (M1)	NORMA
Pérdida por Sulfatos de Sodio Na_2SO_4	%	5.33	NTP 400.016
Pérdida por Sulfatos de Magnesio Mg_2SO_4	%	3.68	NTP 400.016
Carbón Lignito	%	0.024	NTP 400.023
Sulfatos SO_4^{-2}	%	0.0023	NTP 400.042
Cloruros Cl^-	%	0.0046	NTP 400.042
Azul de metileno	g(MB)/kg	2.43	AASHTO TP-57
Sílice SiO_2	%	0.0016	-
Hidróxido de sodio consumido	mgNaOH/100g M	2.50	-
Concentración de silicio (Se)	mmol/L	4.80	MTC E217
Reducción álcali (Rc)	mmol/L	9.64	MTC E217
Horsteno	%	0.011	MTC E211



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

3.2. Resultados agregado fino

ENSAYO	UNIDAD	A FINO (M2)	NORMA
Pérdida por Sulfatos de Sodio Na_2SO_4	%	4.74	NTP 400.016
Pérdida por Sulfatos de Magnesio Mg_2SO_4	%	3.56	NTP 400.016
Carbón Lignito	%	0.018	NTP 400.023
Sulfatos SO_4^{2-}	%	0.0017	NTP 400.042
Cloruros Cl^-	%	0.0038	NTP 400.042
Azul de metileno	g(MB)/kg	2.25	AASHTO TP-57
Sílice SiO_2	%	0.0019	-
Hidróxido de sodio consumido	meq NaOH/100g M	2.32	-
Concentración de silicio (Se)	mmol/L	5.21	MTC E217
Reducción álcali (Rc)	ppm	11.70	MTC E217
Horsteno	%	0.009	MTC E211


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

4. OBSERVACIÓN

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.

5. CÁLCULOS DE LABORATORIO

5.1. CÁLCULOS AGREGADO GRUESO

5.1.1. Pérdida por Sulfatos de Sodio Na_2SO_4

DURABILIDAD AL SULFATO DE NA

MTC E 209, Basado en las Normas ASTM C-88 y AASHTO T-104

PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO MÍNIMO REQUERIDO (gr)	PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)	CUMPLE	TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO
2 1/2" (63 mm)	2" (50 mm)	3000	-	SI	1 1/4" (31.75 mm)
2" (50 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	1500	-	SI	1 1/4" (31.75 mm)
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25 mm)	100	-	SI	5/8" (16 mm)
1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	500	150.00	NO	5/8" (16 mm)
3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	100	100.00	SI	5/16" (8 mm)
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	100	100.00	SI	5/16" (8 mm)
3/8" (9.5 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	100	100.00	SI	Nº 5 (4 mm)
TOTALES		5400	450.00	-	-

ENSAYO CUANTITATIVO		
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO SECO DESPUÉS DEL ENSAYO (gr)
2 1/2" (63 mm)	2" (50 mm)	-
2" (50 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	-
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25 mm)	-
1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	143.00
3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	94.00
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	95.00
3/8" (9.5 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	94.00
TOTALES		426.00
PERDIDA EN %		5.33%


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.1.2. Pérdida por Sulfatos de Magnesio Mg_2SO_4

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO

MTC E 209, Basado en las Normas ASTM C-88 y AASHTO T-104

PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO MÍNIMO REQUERIDO (gr)	PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)	CUMPLE	TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO
2½" (63 mm)	2" (50 mm)	3000	-	SI	1¼" (31.75 mm)
2" (50 mm)	1½" (37.5 mm)	1500	-	SI	1¼" (31.75 mm)
1½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	100	-	SI	5/8" (16 mm)
1" (25 mm)	¾" (19 mm)	500	100.00	NO	5/8" (16 mm)
¾" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	100	100.00	SI	5/16" (8 mm)
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	100	100.00	SI	5/16" (8 mm)
3/8" (9.5 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	100	100.00	SI	Nº 5 (4 mm)
TOTALES		5400	400.00	-	-

ENSAYO CUANTITATIVO		
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO SECO DESPUÉS DEL ENSAYO (gr)
2½" (63 mm)	2" (50 mm)	-
2" (50 mm)	1½" (37.5 mm)	-
1½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	-
1" (25 mm)	¾" (19 mm)	95.37
¾" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	96.38
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	97.14
3/8" (9.5 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	96.38
TOTALES		385.27
PERDIDA EN %		3.68%

5.1.3. Carbón Lignito

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS

MTC E 211, Basado en las Normas ASTM C-123 y AASHTO T-113

DATOS DEL LÍQUIDO UTILIZADO

El líquido fue preparado con una mezcla de:
Tetracloruro de Carbono y Tetrabromuro de
Acetileno

Peso Específico (gr/cm^3)	2
-------------------------------	---

DATOS DEL ENSAYO

Peso Mínimo Requerido (gr)	200
Peso Seco de la Muestra Ensayada (gr)	210.12
Cumple	SI
Peso de las Partículas Decantadas (gr)	0.0497
Porcentaje de Partículas Livianas	0.024%

SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.1.4. Sulfatos

CONTENIDO DE SULFATOS

NTP 339.074

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Solución acondicionadora HNO_3
Cloruro de Bario dihidratado en polvo $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (100 gr/lit)
Agua destilada

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra (gr)	20	20	20
Volumen de agua destilada (ml)	40	40	40
Volumen de la Muestra Ensayada (ml)	10	10	10
Volumen de solución acondicionadora (ml)	0.5	0.5	0.5
Indicador, Cloruro de Bario $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ml)	5	5	5

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Transmitancia	86.15%	86.98%	86.14%
Transmitancia promedio	86.42%		
Ecuación de curva de patrón	$y = -0.5912x + 99.791$		
Contenido de Sulfatos como ion SO_4^{2-}	0.0023%		
Contenido de Sulfatos como ion SO_4^{2-}	22.61 ppm		

5.1.5. Cloruros

CONTENIDO DE CLORUROS

NTP 339.076

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Nitrato de Plata AgNO_3 0.014 N
Cromato de Potasio K_2CrO_4 (Indicador) 1% P/V
Agua destilada

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra (gr)	20	20	20
Volumen de agua destilada (ml)	40	40	40
Volumen de la Muestra Ensayada (ml)	15	15	15
Indicador, Cromato de Potasio K_2CrO_4 (gotas)	3	3	3

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen Gastado AgNO_3 (ml)	0.8	0.6	0.7
Volumen Gastado AgNO_3 promedio (ml)	0.700		
Contenido de Cloruros como ion Cl^-	0.0046%		
Contenido de Cloruros como ion Cl^-	46.39 ppm		


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.1.6. Azul de metileno

ENSAYO AZUL DE METILENO

NORMA AASHTO T330

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Agua destilada
Azul de metileno 1.5 mg/ML
Papel filtro Whatman

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra seca usado en la prueba (gr)	3	3	3
Volumen de agua destilada (mL)	90	90	90
Solución inicial de Azul de metileno en el ensayo	0.5	0.5	0.5
Solución final de Azul de metileno en el ensayo (mL)	3.4	3.2	3.5
Concentración de Azl de metileno (g/mL)		1.5	

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Solución promedio de Azul de metileno final	6.4	6.7	6.6
Cantidad de Azul de Metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo (mg)		6.57	
VALOR AZUL DE METILENO (mg/g)		2.43	

MZ PROJECT
LABORATORY


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.1.7. Reactividad agregado / álcali - Óxido de Silicio

REACTIVIDAD AGREGADO/ÁLCALI MTC E-217, basado en la Norma ASTM C-289

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Hidróxido de Sodio NaOH 1 N
Ácido Clorhídrico HCl 0.1 N
Fenolftaleína C ₂₀ H ₁₄ O ₄ 3%
Agua destilada

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra (gr)	10	10	10
Volumen de Hidróxido de Sodio NaOH (ml)	15	15	15
Tiempo (horas)	24	24	24
Temperatura (°C)	80	80	80
Volumen de la Muestra Ensayada (ml)	15	15	15
Indicador, Fenolftaleína C ₂₀ H ₁₄ O ₄ (gotas)	3	3	3

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen Gastado HCl (ml)	0.05	0.04	0.05
Volumen Gastado HCl promedio (ml)	0.047		
Reducción de la alcalinidad R	0.0010%		
Reducción de la alcalinidad R	9.64 ppm		
Concentración de Óxido de silicio SiO ₂	0.0016%		
Concentración de Óxido de silicio SiO ₂	15.54 ppm		

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD
$SiO_2 > R_1$, Cuando $R \geq 70$ $SiO_2 > 35 + 0.5R$, Cuando $R < 70$
016 > 040 → NO
Por lo tanto: El agregado No es potencialmente reactivo con los álcalis del cemento

NO PRESENTA REACTIVIDAD POTENCIAL


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.1.8. Horsteno

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS

MTC E 211, Basado en las Normas ASTM C-123 y AASHTO T-113

DATOS DEL LÍQUIDO UTILIZADO	
El líquido fue preparado con una solución de Bromuro de Zinc en agua	
Peso Específico (gr/cm ³)	2.4

DATOS DEL ENSAYO	
Peso Mínimo Requerido (gr)	150
Peso Seco de la Muestra Ensayada (gr)	151.24
Cumple	SI
Peso de las Partículas Decantadas (gr)	0.0168
Porcentaje de Partículas Livianas	0.011%

5.2. CÁLCULOS AGREGADO FINO

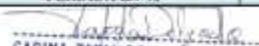
5.2.1. Pérdida por Sulfatos de Sodio Na₂SO₄

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO

MTC E 209, Basado en las Normas ASTM C-88 y AASHTO T-104

PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO MÍNIMO REQUERIDO (gr)	PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)	CUMPLE	TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO
3/8" (9.5 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	50	50.00	SI	Nº 4 (4.75 mm)
Nº 4 (4.75 mm)	Nº 8 (2.36 mm)	50	51.00	SI	Nº 8 (2.36 mm)
Nº 8 (2.36 mm)	Nº 16 (1.18 mm)	50	50.00	SI	Nº 16 (1.18 mm)
Nº 16 (1.18 mm)	Nº 30 (0.6 mm)	50	50.00	SI	Nº 30 (0.6 mm)
Nº 30 (0.6 mm)	Nº 50 (0.3 mm)	50	52.00	SI	Nº 50 (0.3 mm)
TOTALES		250	253.00	-	-

ENSAYO CUANTITATIVO		
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO SECO DESPUÉS DEL ENSAYO (gr)
3/8" (9.5 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	48.00
Nº 4 (4.75 mm)	Nº 8 (2.36 mm)	49.00
Nº 8 (2.36 mm)	Nº 16 (1.18 mm)	48.00
Nº 16 (1.18 mm)	Nº 30 (0.6 mm)	47.00
Nº 30 (0.6 mm)	Nº 50 (0.3 mm)	49.00
TOTALES		241.00
PERDIDA EN %		4.74%


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.2.2. Pérdida por Sulfatos de Magnesio MgSO₄

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO

MTC E 209, Basado en las Normas ASTM C-88 y AASHTO T-104

PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO MÍNIMO REQUERIDO (gr)	PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)	CUMPLE	TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO
3/8" (9,5 mm)	Nº 4 (4,75 mm)	50	50.00	SI	Nº 4 (4,75 mm)
Nº 4 (4,75 mm)	Nº 8 (2,36 mm)	50	52.00	SI	Nº 8 (2,36 mm)
Nº 8 (2,36 mm)	Nº 16 (1,18 mm)	50	50.00	SI	Nº 16 (1,18 mm)
Nº 16 (1,18 mm)	Nº 30 (0,6 mm)	50	51.00	SI	Nº 30 (0,6 mm)
Nº 30 (0,6 mm)	Nº 50 (0,3 mm)	50	50.00	SI	Nº 50 (0,3 mm)
TOTALES		250	253.00	-	-

ENSAYO CUANTITATIVO		
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO SECO DESPUÉS DEL ENSAYO (gr)
3/8" (9,5 mm)	Nº 4 (4,75 mm)	49.00
Nº 4 (4,75 mm)	Nº 8 (2,36 mm)	50.00
Nº 8 (2,36 mm)	Nº 16 (1,18 mm)	48.00
Nº 16 (1,18 mm)	Nº 30 (0,6 mm)	49.00
Nº 30 (0,6 mm)	Nº 50 (0,3 mm)	48.00
TOTALES		244.00
PERDIDA EN %		3.56%

5.2.3. Carbón Lignito

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS

MTC E 211, Basado en las Normas ASTM C-123 y AASHTO T-113

DATOS DEL LÍQUIDO UTILIZADO	
El líquido fue preparado con una mezcla de: Tetracloruro de Carbono y Tetrabromuro de Acetileno	
Peso Específico (gr/cm ³)	2

DATOS DEL ENSAYO	
Peso Mínimo Requerido (gr)	200
Peso Seco de la Muestra Ensayada (gr)	210.12
Cumple	SI
Peso de las Partículas Decantadas (gr)	0.0369
Porcentaje de Partículas Livianas	0.018%


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.2.4. Sulfatos

CONTENIDO DE SULFATOS

NTP 339.074

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Solución acondicionadora HNO_3
Cloruro de Bario dihidratado en polvo $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (100 gr/lt)
Agua destilada

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra (gr)	20	20	20
Volumen de agua destilada (ml)	40	40	40
Volumen de la Muestra Ensayada (ml)	10	10	10
Volumen de solución acondicionadora (ml)	0.5	0.5	0.5
Indicador, Cloruro de Bario $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ml)	5	5	5

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Transmitancia	89.56%	88.91%	90.15%
Transmitancia promedio	89.54%		
Ecuación de curva de patrón	$y = -0,5912x + 99,791$		
Contenido de Sulfatos como ion SO_4^{2-}	0.0017%		
Contenido de Sulfatos como ion SO_4^{2-}	17.34 ppm		

MZ PROJECT
LABORATORY


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.2.5. Cloruros

CONTENIDO DE CLORUROS

NTP 339.076

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Nitrato de Plata AgNO_3 0.014 N
Cromato de Potasio K_2CrO_4 (Indicador) 1% P/V
Agua destilada

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra (gr)	20	20	20
Volumen de agua destilada (ml)	40	40	40
Volumen de la Muestra Ensayada (ml)	15	15	15
Indicador, Cromato de Potasio K_2CrO_4 (gotas)	3	3	3

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen Gastado AgNO_3 (ml)	0.6	0.5	0.6
Volumen Gastado AgNO_3 promedio (ml)	0.567		
Contenido de Cloruros como ion Cl	0.0038%		
Contenido de Cloruros como ion Cl	37.55 ppm		

5.2.6. Azul de metileno

ENSAYO AZUL DE METILENO

NORMA AASHTO T330

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Agua destilada
Azul de metileno 1.5 mg/MI
Papel filtro Whatman

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra seca usado en la prueba (gr)	3	3	3
Volumen de agua destilada (ml)	90	90	90
Solución inicial de Azul de metileno en el ensayo	0.5	0.5	0.5
Solución final de Azul de metileno en el ensayo (ml)	4.5	5	4
Concentración de Azl de metileno (g/ml)	1.5		

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Solución promedio de Azul de metileno final	4.5	4.5	4.5
Cantidad de Azul de Metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo (mg)	6.75		
VALOR AZUL DE METILENO (mg/g)	2.25		
VALOR AZUL DE METILENO (mg/g)	2.25		

QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.2.7. Reactividad agregado / álcali - Óxido de Silicio

REACTIVIDAD AGREGADO/ÁLCALI MTC E-217, basado en la Norma ASTM C-289

DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO
Hidróxido de Sodio NaOH 1 N
Ácido Clorhídrico HCl 0.1 N
Fenolftaleína C ₂₀ H ₁₄ O ₄ 3%
Agua destilada

DATOS DEL ENSAYO			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de muestra (gr)	10	10	10
Volumen de Hidróxido de Sodio NaOH (ml)	15	15	15
Tiempo (horas)	24	24	24
Temperatura (°C)	80	80	80
Volumen de la Muestra Ensayada (ml)	15	15	15
Indicador, Fenolftaleína C ₂₀ H ₁₄ O ₄ (gotas)	3	3	3

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Volumen Gastado HCl (ml)	0.05	0.06	0.06
Volumen Gastado HCl promedio (ml)	0.057		
Reducción de la alcalinidad R	0.0012%		
Reducción de la alcalinidad R	11.70 ppm		
Concentración de Óxido de silicio SiO ₂	0.0019%		
Concentración de Óxido de silicio SiO ₂	18.87 ppm		

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD	
$SiO_2 > R_1$, Cuando $R \geq 70$	
$SiO_2 > 35 + 0.5R$, Cuando $R < 70$	
$18.87 > 40.85$ → NO	
Por lo tanto: El agregado No es potencialmente reactivo con los álcalis del cemento	

NO PRESENTA REACTIVIDAD POTENCIAL


SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

5.2.8. Horsteno

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS

MTC E 211, Basado en las Normas ASTM C-123 y AASHTO T-113

DATOS DEL LÍQUIDO UTILIZADO	
El líquido fue preparado con una solución de Bromuro de Zinc en agua	
Peso Específico (gr/cm ³)	2.4

DATOS DEL ENSAYO	
Peso Mínimo Requerido (gr)	150
Peso Seco de la Muestra Ensayada (gr)	155.98
Cumple	SI
Peso de las Partículas Decantadas (gr)	0.0136
Porcentaje de Partículas Livianas	0.009%

6. REGISTRO FOTOGRÁFICO




SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

MZ PROJECT LABORATORY

Venta de materiales y reactivos de laboratorio
Análisis físicoquímico de suelos, aguas, agregados
Asesoramiento y capacitación permanente




SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978796 📁 RUC: 20612130371 ✉ mz.project.2401@gmail.com

MZ PROJECT LABORATORY

Venta de materiales y reactivos de laboratorio
Análisis físicoquímico de suelos, aguas, agregados
Asesoramiento y capacitación permanente




SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

 980 978796  RUC: 20612130371  mz.project.2401@gmail.com