

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“DISEÑO Y ELABORACIÓN DE CONCRETO LIGERO
UTILIZANDO ADITIVO ESPUMANTE APLICADO A
UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE TIPO NO ESTRUCTURAL”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

FRANZKE DANTE ROJAS AYALA

ASESOR

Mg. Ing. VILLEGAS MARTINEZ CARLOS ALBERTO

LIMA- PERÚ

2020

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Mg. Ing Carlos Alberto Villegas Martínez por su guía y ayuda durante el desarrollo de la tesis, a mi familia y en especial a mi madre, Hilda, por ser el motivo de mis logros académicos y profesionales, a la familia Reynaga Calderón por su apoyo constante en mis etapas difíciles, a Greissy, por su compañía y apoyo incondicional.

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	8
PRÓLOGO	10
LISTA DE TABLAS.....	11
LISTA DE FIGURAS	16
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	19
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	21
1.1 GENERALIDADES	21
1.2 PROBLEMÁTICA	22
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 Objetivo General	23
1.3.2 Objetivos Específicos	23
1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	25
2.1 NORMATIVIDAD	25
2.2 CONCRETO	26
2.2.1 Definición	26
2.2.2 Tipos de concreto según su densidad	26
2.2.3 Concreto Ligero	26
2.2.4 Concreto Espumoso	29
2.3 CEMENTO PORTLAND	30
2.3.1 Clasificación del Cemento Portland	31
2.3.2 Densidad	31
2.3.3 Tiempo de Fragua	32
2.3.4 Superficie Específica	32
2.4 CAL	32
2.4.1 Clasificación de la cal	32
2.5 AGREGADO FINO	34
2.5.1 Densidad relativa (Peso específico)	34
2.5.2 Porcentaje de absorción	34

2.5.3	Peso unitario (Densidad de masa)	35
2.5.4	Granulometría	35
2.5.5	Módulo de finura	36
2.5.6	Contenido de Humedad	36
2.5.7	Cantidad que pasa por la malla N°200	36
2.6	ADITIVO ESPUMANTE	37
2.6.1	Definición	37
2.7	DISEÑO DE MEZCLA	38
2.7.1	Generalidades	38
2.7.2	Método de diseño utilizado	39
2.8	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	39
2.8.1	Resistencia a la compresión	40
2.8.2	Variaciones permisibles en las dimensiones	41
2.8.3	Contenido de Humedad	41
2.8.4	Absorción	41
2.8.5	Densidad (Peso Unitario)	42
2.8.6	Contenido de Vacíos	42
2.8.7	Conductividad Térmica	43
2.8.8	Resistencia a la compresión de pilas	44
2.8.9	Resistencia a la compresión diagonal de muretes	45
	CAPÍTULO III: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	46
3.1	PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO	46
3.1.1	Densidad Relativa (P.E)	46
3.1.2	Porcentaje de Absorción (Abs)	46
3.1.3	Peso Unitario (P.U)	46
3.1.4	Granulometría	46
3.1.5	Módulo de Finura (M.F)	47
3.1.6	Contenido de Humedad (C.H)	47
3.1.7	Cantidad que pasa por la malla N°200	48
3.1.8	Resumen de las propiedades del agregado fino	48
3.2	PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I	48
3.2.2	Cemento usado (Portland tipo I – Sol)	48
3.3	PROPIEDADES DEL ADITIVO ESPUMANTE	49
3.3.1	Aditivo Lightcrete de Sika	49
3.4	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	51

3.4.1 Agua utilizada	51
3.5 CARACTERISTICAS DE LA CAL	51
3.5.1 Cal hidráulica	51
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA.....	52
4.1 DISEÑO ACI 523.3R	52
4.1.1 Cálculo del diseño de mezcla	52
4.2 DOSIFICACIONES DE MEZCLA	54
4.2.1 Dosificaciones sin cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m ³).	54
4.2.2 Dosificaciones con 15% de cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m ³).	55
4.2.3 Dosificaciones con 25% de cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m ³).	56
4.2.4 Dosificaciones con 35% de cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m ³).	57
CAPÍTULO V: ELECCIÓN DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO.....	59
5.1 ELABORACIÓN DE CUBOS DE CONCRETO LIGERO	59
5.1.1 Generalidades	59
5.1.2 Elaboración de moldes	59
5.1.3 Proceso de mezclado	60
5.1.4 Proceso de curado	61
5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE CONCRETO LIGERO	62
5.2.1 Resistencia a la compresión de dosificación A1, A2 y A3.	62
5.2.2 Resistencia a la compresión de dosificación B1, B2 y B3.	65
5.2.3 Resistencia a la compresión de dosificación C1, C2 y C3.	69
5.2.4 Resistencia a la compresión de dosificación D1, D2 y D3.	72
5.2.5 Elección de dosificación para elaboración de unidades de albañilería de concreto ligero.	76
5.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO PARA LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ELEGIDA	76
5.3.1 Trabajabilidad	76
5.3.2 Peso unitario	76
5.3.3 Consistencia	77
5.3.4 Tiempo de Fragua	77
5.3.5 Exudación	77

CAPÍTULO VI: ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO LIGERO.....	78
6.1 GENERALIDADES	78
6.2 MOLDES PARA LAS UNIDADES DE ALBAÑILERIA	78
6.2.1 Elección de la dimensión de la unidad de albañilería	78
6.2.2 Detalles técnicos de los moldes	79
6.3 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA	80
CAPÍTULO VII: ESTUDIO DEL MORTERO PARA UNIDADES DE ALBAÑILERIA	84
7.1 GENERALIDADES	84
7.2 AGREGADO FINO	84
7.2.1 Propiedades del agregado fino	84
7.3 DISEÑOS DE MORTEROS PARA UNIDADES DE ALBAÑILERIA	85
7.3.1 Diseños de mortero	85
7.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO	85
7.4.1 Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días	85
7.4.2 Elección de diseño para mortero de albañilería	86
CAPÍTULO VIII: ENSAYO A UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO LIGERO.....	87
8.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	87
8.2 VARIACIONES PERMISIBLES EN LAS DIMENSIONES	88
8.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	88
8.4 ENSAYO DE ABSORCIÓN	88
8.5 ENSAYO DE DENSIDAD (PESO UNITARIO)	89
8.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS	89
8.7 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES	89
CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE COSTO	91
9.1 GENERALIDADES	91
9.2 ANÁLISIS DE COSTO	91
9.2.1 Análisis de costo para fabricación de bloque de concreto ligero	91
9.2.2 Análisis de costo para construcción de muro con bloque de concreto ligero	92

9.2.3 Análisis de costo para construcción de muro con ladrillo King Kong 18 huecos	93
9.2.4 Análisis de costo de tarrajeo de muro	94
9.2.5 Análisis de costo de pintura en muro	95
CAPÍTULO X: ANÁLISIS DE RESULTADOS	96
10.1 CUBOS DE COCRETO LIGERO	96
10.1.1 Resistencia a la compresión	96
10.2 UNIDADES DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO LIGERO	97
10.2.1 Resistencia a la compresión	97
10.2.2 Variaciones permisibles en las dimensiones	98
10.2.3 Absorción	98
10.2.4 Densidad (peso unitario)	99
10.2.5 Conductividad térmica	100
10.2.6 Resistencia a la compresión de pilas	101
10.2.7 Resistencia a la compresión diagonal de muretes	102
10.3 PESO DE MURO ACABADO POR M ²	103
10.4 COSTO TOTAL DE MURO ACABADO POR M ²	104
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS	114

RESUMEN

La presente tesis “Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural” tiene como objetivo dar una alternativa de construcción de muros de albañilería de tipo no estructural utilizando bloques de concreto ligero.

Los ensayos necesarios realizados para el desarrollo de la presente tesis fueron elaborados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-UNI).

El aditivo utilizado para diseñar y elaborar los bloques de concreto ligero fue un aditivo espumante, este aditivo según la dosificación del diseño genera espuma durante el proceso de mezclado obteniendo una mezcla más fluida y menos densa. El tiempo de mezclado fue constante para todos los procesos de mezclado, debido a que la variación de este tiempo provoca un aumento o disminución de la cantidad de espuma, por ende, la variación de la densidad deseada del concreto ligero.

La elaboración del diseño del concreto ligero tuvo como referencia bibliográfica la guía ACI 523.3R “Guía para concreto celular por encima de 800 kg/m³”, esta guía brinda todas las pautas para el cálculo de la dosificación de cemento, arena, agua y aditivo.

Se elaboró cubos de concreto ligero de 10cm de lado para cada diseño, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión para dichos cubos, con estos resultados se determinó el diseño que cumple con la resistencia mínima de un bloque de concreto de uso no estructural según la NTP 399.600.

Con el diseño elegido se elaboró los bloques de concreto ligero, y se realizó el estudio de las propiedades de resistencia a la compresión, densidad, absorción, contenido de vacíos y contenido de humedad según la Norma Técnica Peruana. Se elaboró pilas y muretes con los bloques de concreto ligero para el estudio de las propiedades de resistencia a la compresión de prisma y resistencia a la compresión diagonal de muros.

De acuerdo al ensayo de resistencia a la compresión de bloques de concreto ligero se determinó que superan en un 21% la resistencia mínima de la NTP 399.600, y el resultado del ensayo de absorción de concreto ligero se determinó que representa el 89% del valor máximo de la NTP 399.602. Respecto a la propiedad de conductividad termina se toma como referencia los resultados del estudio del

concreto celular de la tesis de Yuri Ninaquispe Manchego (2007). Con esto se concluye que el bloque de concreto ligero tiene mejores propiedades térmicas que los muros convencionales de ladrillo King Kong, por lo que su uso se hace idóneo para zonas con climas extremos (frio o calor).

Se realizó un análisis de costo para la construcción de muros de albañilería hecho de ladrillo king kong y bloque de concreto ligero, los resultados muestran que el sistema de muros de bloque de concreto ligero es 31% más económico que el sistema de muros de albañilería convencional de muros de ladrillo king kong. Se realizó un análisis de peso por m² de muro para los dos sistemas, resultando 42% más ligeros los muros de bloque de concreto ligero.

El sistema de muros con bloque de concreto ligero es una buena alternativa debido a que son más ligeros y más económicos respecto a los muros convencionales de ladrillo, además de brindar buenas propiedades térmicas y acústicas. La utilización de los bloques diseñados en la presente tesis reduce la carga muerta de una obra de edificación lo que conlleva a la reducción de la fuerza de sismo en caso de un evento telúrico.

ABSTRACT

The present thesis "Design and manufacture of lightweight concrete using foaming additive applied to non-structural masonry units" aims to provide an alternative for the construction of non-structural masonry walls using lightweight concrete blocks.

The necessary tests carried out for the development of this thesis were elaborated in the Materials Testing Laboratory (LEM-UNI).

The additive used to design and make the lightweight concrete blocks was a foaming additive, this additive according to the design dosage generates foam during the mixing process, obtaining a more fluid and less dense mixture. The mixing time was constant for all mixing processes, because the variation of this time causes an increase or decrease in the amount of foam, therefore, the variation of the desired density of lightweight concrete.

The development of the lightweight concrete design had as a bibliographic reference the ACI 523.3R guide "Guide for cellular concrete above 800 kg / m³", this guide provides all the guidelines for calculating the dosage of cement, sand, water and additive .

Lightweight concrete cubes of 10 cm on each side were elaborated for each design, the compression resistance test was carried out for said cubes, with these results the design that meets the minimum resistance of a concrete block for non-structural use was determined according to NTP 399,600.

With the chosen design, the lightweight concrete blocks were made, and the properties of compressive strength, density, absorption, void content and moisture content were studied according to the Peruvian Technical Standard. Piles and walls were made with the lightweight concrete blocks to study the properties of resistance to prism compression and resistance to diagonal compression of walls.

According to the compression resistance test of lightweight concrete blocks, it was determined that they exceed the minimum resistance of NTP 399.600 by 21%, and the result of the light concrete absorption test was determined to represent 89% of the maximum value. of the NTP 399.602. Regarding the property of conductivity ends, the results of the study of cellular concrete of the thesis of Yuri Ninaquispe Manchego (2007) are taken as a reference. With this it is concluded that the lightweight concrete block has better thermal properties than conventional King Kong brick walls, so its use is ideal for areas with extreme climates (hot or cold).

A cost analysis was conducted for the construction of masonry walls made of king kong brick and lightweight concrete block, the results show that the lightweight concrete block wall system is 31% cheaper than the conventional masonry wall system of king kong brick walls. A weight per m² wall analysis was carried out for the two systems, resulting in 42% lighter the lightweight concrete block walls.

The lightweight concrete block wall system is a good alternative because they are lighter and cheaper compared to conventional brick walls, in addition to providing good thermal and acoustic properties. The use of the blocks designed in this thesis reduces the dead load of a building work, which leads to the reduction of the earthquake force in the event of a telluric event.

PRÓLOGO

Debido a la necesidad de innovación del concreto y la problemática de su alta densidad, surge la alternativa del concreto ligero, que desde épocas antigua ha sido estudiado y usado. La presente tesis comprende el tema del estudio, diseño y elaboración de bloques de concreto ligero aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural. El estudio del concreto ligero es un aporte importante debido a que su uso no está masificado en el Perú, este estudio es una herramienta para la implementación del concreto ligero como parte de una edificación u obra civil, que tendrían como beneficio su baja densidad, bajo costo, fácil manejo y buen confort térmico.

Para el diseño del concreto ligero se usa la guía del American Concrete Institute (ACI 523.3R), donde se realiza el diseño de concreto ligero utilizando aditivo espumante, arena, cemento y agua.

Este estudio se aplica a unidades de albañilería de tipo no estructural, y se verifica el cumplimiento de la resistencia y absorción del bloque del concreto ligero según los requerimientos de las normas NTP 399.600 y NTP399.602.

Finalizado los ensayos del bloque de concreto ligero se realiza un análisis de peso y costo por m² de muro, con esto se determina el grado de beneficio de su aplicación en muros de tipo no estructural.

Ing. Carlos A. Villegas Martínez

Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Granulometría para el agregado fino.....	35
Tabla N° 2.2 Porcentaje máximo de material más fino que la malla N°200.....	37
Tabla N° 2.3 Requisitos de resistencia a la compresión del bloque de concreto de uso no estructural, NTP 399.600.....	40
Tabla N° 2.4 Requisito de absorción y clasificación por densidad, NTP 399.602.....	42
Tabla N° 2.5 Factor de corrección de altura/espesor para la resistencia en compresión de prismas de albañilería, NTP 399.605.....	45
Tabla N° 3.1 Resumen de la densidad relativa (peso específico) del agregado fino.....	46
Tabla N° 3.2 Resumen del porcentaje de absorción del agregado fino.....	46
Tabla N° 3.3 Resumen del peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	46
Tabla N° 3.4 Resumen del módulo de finura del agregado fino.....	47
Tabla N° 3.5 Resumen de contenido de humedad del agregado fino.....	47
Tabla N° 3.6 Resumen de la cantidad de material que pasa por la malla N°200.....	48
Tabla N° 3.7 Resumen de las propiedades del agregado fino.....	48
Tabla N° 3.8 Propiedades físicas y químicas, y requisitos de la NTP 334.009 y ASTM C-150.....	49
Tabla N° 4.1 Diseños con cantidad de aditivo de 0.5, 2.25, 4 kg por m ³ de concreto ligero.....	53
Tabla N° 4.2 Densidad del concreto fresco para diferentes cantidades de aditivo.....	53
Tabla N° 4.3 Dosificación concreto ligero por m ³ para a/c=0.5, sin cal y D=1400 kg/m ³	54
Tabla N° 4.4 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, sin cal y D=1400 kg/m ³	54

Tabla N° 4.5 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, sin cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$	55
Tabla N° 4.6 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, sin cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$	55
Tabla N° 4.7 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 15% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$	55
Tabla N° 4.8 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 15% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$	56
Tabla N° 4.9 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 15% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$	56
Tabla N° 4.10 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$	56
Tabla N° 4.11 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$	57
Tabla N° 4.12 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$	57
Tabla N° 4.13 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$	57
Tabla N° 4.14 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$	58
Tabla N° 4.15 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$	58
Tabla N° 5.1 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A1 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).	62
Tabla N° 5.2 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A2 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$).	62
Tabla N° 5.3 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A3 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$).	62
Tabla N° 5.4 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones A1, A2 y A3.	63

Tabla N° 5.5 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B1 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1400 kg/m ³).....	65
Tabla N° 5.6 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B2 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1200 kg/m ³).....	66
Tabla N° 5.7 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B3 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1000 kg/m ³).....	66
Tabla N° 5.8 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones B1, B2 y B3.	66
Tabla N° 5.9 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C1 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1400 kg/m ³).....	69
Tabla N° 5.10 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C2 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1200 kg/m ³).....	69
Tabla N° 5.11 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C3 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1000 kg/m ³).....	69
Tabla N° 5.12 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones C1, C2 y C3	70
Tabla N° 5.13 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D1 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m ³).....	72
Tabla N° 5.14 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D2 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m ³).....	73
Tabla N° 5.15 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D3 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m ³).....	73
Tabla N° 5.16 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones D1, D2 y D3.	73
Tabla N° 5.17 Resistencia a la compresión a los 28 días para la dosificación C1 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1400 kg/m ³).	76
Tabla N° 5.18 Asentamiento del concreto ligero de la dosificación tipo C1.	76
Tabla N° 5.19 Peso unitario del concreto ligero de la dosificación tipo C1.	77
Tabla N° 5.20 Consistencia del concreto ligero de la dosificación tipo C1.	77
Tabla N° 5.21 Tiempo de fragua del concreto ligero de la dosificación tipo C1. .	77

Tabla N° 5.22 Exudación del concreto ligero de la dosificación tipo C1.	77
Tabla N° 6.1 Medidas nominales para bloques de concreto NTP 400.006.....	78
Tabla N° 6.2 Medidas de las dimensiones del bloque de concreto de la presente investigación.	79
Tabla N° 6.3 Dosificación C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$), tanda 0.085 m^3	80
Tabla N° 7.1 Resumen de las propiedades del agregado fino para mortero	85
Tabla N° 7.2 Diseño C1, C2 y C3 para mortero de albañilería	85
Tabla N° 7.3 Resistencia a la compresión a los 28 días de cubos de mortero para diseño M1, M2 y M3.	86
Tabla N° 8.1 Resistencia a la compresión a los 7, 14 Y 28 días del bloque de concreto ligero de diseño C1.....	87
Tabla N° 8.2 Variaciones en las dimensiones de los bloques de concreto ligero.	88
Tabla N° 8.3 Contenido de Humedad del bloque de concreto ligero de diseño C1.	88
Tabla N° 8.4 Resistencia a la compresión a los 28 días de cubos de mortero para diseño M1, M2 y M3.....	89
Tabla N° 8.5 Densidad del bloque de concreto ligero de diseño C1.....	89
Tabla N° 8.6 Porcentaje de vacíos del bloque de concreto ligero de diseño C1.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla N° 8.7 Resistencia a la compresión de pilas de albañilería del diseño C1.	89
Tabla N° 8.8 Resistencia a la compresión diagonal de muros de albañilería del diseño C1.....	89
Tabla N° 9.1 Análisis de precio unitario por unidad de bloque de concreto ligero.	91
Tabla N° 9.2 Análisis de precio unitario para construcción de muro hecho con bloque de concreto ligero por m^2	92

Tabla N° 9.3 Análisis de precio unitario para construcción de muro hecho con ladrillo King Kong 18 huecos por m ²	93
Tabla N° 9.4 Análisis de precio unitario para tarrajeo de muro por m ²	94
Tabla N° 9.5 Análisis de precio unitario para pintura en muro por m ²	95
Tabla N° 10.1 Variación promedio de las dimensiones de 10 bloques de concreto ligero.	98
Tabla N° 10.2 Valores de conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.	101
Tabla N° 10.3 Peso de muro acabado por m ² para muros hechos con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero.	104
Tabla N° 10.4 Costo total de construcción de muro por m ²	105

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Clasificación del concreto ligero en base al grado de resistencia y su densidad con los distintos agregados que la componen.	27
Figura N° 2.2 Clasificación del concreto ligero en base al material que la compone.	28
Figura N° 2.3 La familia de las cales.....	33
Figura N° 2.4 Esquema gráfico de los parámetros de la Ley de Fourier.	44
Figura N° 3.1 Granulometría del agregado fino para uso en concreto.....	47
Figura N° 3.2 Información general y datos técnicos del aditivo Lightcrete.....	50
Figura N° 4.1 Densidad del concreto fresco para cada cantidad de aditivo.....	53
Figura N° 5.1 Molde cubico metálico de 10 x 10 x 10 cm, aplicación del desmoldante.	59
Figura N° 5.2 Proceso de mezclado del concreto ligero.....	60
Figura N° 5.3 Vaciado de concreto ligero en los moldes cúbicos de 10 x 10 x 10 cm.....	61
Figura N° 5.4 Poza de curado para los cubos de concreto ligero.....	61
Figura N° 5.5 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A1 (a/c=0.5, sin cal y D=1400 kg/m ³).	63
Figura N° 5.6 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A2 (a/c=0.5, sin cal y D=1200 kg/m ³).	64
Figura N° 5.7 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A3 (a/c=0.5, sin cal y D=1000 kg/m ³).	64
Figura N° 5.8 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A1, A2 y A3.	65
Figura N° 5.9 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B1 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1400 kg/m ³).....	67
Figura N° 5.10 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B2 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1200 kg/m ³).	67
Figura N° 5.11 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B3 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1000 kg/m ³).	68

Figura N° 5.12 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B1, B2 y B3.	68
Figura N° 5.13 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C1 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1400 kg/m ³).	70
Figura N° 5.14 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C2 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1200 kg/m ³).	71
Figura N° 5.15 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C3 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1000 kg/m ³).	71
Figura N° 5.16 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C1, C2 y C3.	72
Figura N° 5.17 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D1 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m ³).	74
Figura N° 5.18 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D2 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m ³).	74
Figura N° 5.19 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D3 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m ³).	75
Figura N° 5.20 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D1, D2 y D3.	75
Figura N° 6.1 Medida de las dimensiones del bloque de concreto a fabricar.	79
Figura N° 6.2 Estructura del molde formada por tablas de espesores de 1.5 cm, y aplicación de petróleo (desmoldante).....	80
Figura N° 6.3 Mezclado de los materiales de la dosificación C1 para una tanda de 0.085 m ³ de concreto ligero.	81
Figura N° 6.4 Vaciado del concreto ligero en los moldes.	82
Figura N° 6.5 Proceso de fraguado de los bloques de concreto ligero.	82
Figura N° 6.6 Pozas de curado para los bloques de concreto ligero.	83
Figura N° 6.7 Proceso de secado y almacenamiento de los bloques de concreto ligero.....	83
Figura N° 7.1 Granulometría del agregado fino para uso en mortero de albañilería – NTP 399.607.....	84

Figura N° 8.1 Comportamiento de la resistencia a la compresión a los 7, 14 Y 28 días del bloque de concreto ligero de diseño C1.....	87
Figura N° 10.1 Resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero a los 28 días y resistencia mínima NTP 399.600.....	96
Figura N° 10.2 Resistencia a la compresión del bloque de concreto ligero y la resistencia mínima a la compresión (NTP 399.600).....	97
Figura N° 10.3 Comparación de los valores de resistencia a la compresión de los cubos, probetas y bloques de concreto ligero.....	98
Figura N° 10.4 Verificación de cumplimiento de la absorción máxima (NTP 399.602) del bloque de concreto ligero.....	99
Figura N° 10.5 Comparación de densidad entre bloque de concreto ligero y el concreto convencional.....	100
Figura N° 10.6 Comparación de conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.....	101
Figura N° 10.7 Comparación de la resistencia a la compresión de pilas.....	102
Figura N° 10.8 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal de muretes.....	103
Figura N° 10.9 Comparación de los pesos de los materiales utilizados en los muros hechos con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero, por m ²	104

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- A: Masa de la muestra seca al horno.
- a: Cantidad de agua por metro cubico de concreto.
- A_b : Área bruta promedio del espécimen.
- A_n : Área neta promedio del espécimen.
- ar: Cantidad de arena por metro cubico de concreto.
- A_t : Área de la sección transversal del espécimen.
- B: Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración.
- c: Cantidad de cemento por metro cubico de concreto.
- C: Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración.
- CH: Contenido de Humedad.
- f_b : Esfuerzo de compresión del área bruta.
- f_m : Resistencia del prisma de albañilería.
- f_{mt} : Resistencia a la compresión de albañilería.
- f_n : Esfuerzo de compresión del área neta.
- H: Altura del murete.
- h: Espesor del espécimen.
- h_p : Altura del prisma.
- k: Conductividad térmica.
- L: Largo del murete.
- m: Masa del cemento Portland que se introduce en el frasco volumétrico de Le Chatelier.
- MF: Módulo de finura.
- OD: Seco al horno.
- P_{max} : Carga de compresión máxima.
- PU_c : Peso unitario suelto.
- PU_s : Peso unitario suelto.
- S: Masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad con ambos procedimientos).
- t: Espesor total del murete.
- T_1 : Temperatura del foco caliente.
- T_2 : Temperatura del foco frio.
- t_p : Espesor del prisma.

- v: Volumen desplazado después de introducir el cemento en el frasco volumétrico.
- v_m = Esfuerzo cortante sobre el área bruta de la diagonal, kg/cm^2
- V_R : Volumen del recipiente.
- W_A : Masa de muestra seca al horno.
- W_C : Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición.
- W_C : Peso seco del agregado suelto.
- W_D : Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición.
- w_d : Peso seco al horno del agregado.
- W_d : Peso seco al horno del espécimen.
- W_i : Peso sumergido del espécimen.
- w_n : Peso en estado natural o húmedo del agregado.
- W_r : Peso recibido del espécimen.
- W_s : Peso saturado del espécimen.
- W_S : Peso seco del agregado suelto.
- γ_f : Densidad del concreto fresco.
- γ_s : Densidad del concreto seco.
- ΔQ : Calor transferido en un intervalo de tiempo Δt .
- ΔT : Diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente.
- Δt : Variación de tiempo durante el proceso de transferencia de calor.
- ρ : Densidad del cemento Portland.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

EL concreto ligero es un concreto de baja densidad que tiene buenas propiedades térmicas y acústicas para viviendas ubicadas en zonas con climas extremos. El uso del concreto ligero en el Perú no se ha masificado aún, son pocas las empresas de concreto prefabricado que por el momento están haciendo los estudios mecánicos del concreto ligero. Hasta el momento ya se ha realizado muchas investigaciones de concreto ligero en diferentes universidades del Perú, las tesis de Velarde, Huarhua, Ninaquispe y otros, han realizado estudios teóricos y prácticos, han utilizado agregados ligeros y el polvo de aluminio en diferentes porcentajes para determinar el diseño del concreto ligero, y se ha aplicado como elementos prefabricados. La principal diferencia del presente estudio a comparación de las investigaciones mencionadas es la utilización de un aditivo espumante para obtener el concreto ligero y el uso de la norma ACI 523.3R para la determinación del diseño del concreto ligero.

El Perú no tiene una normativa para el diseño o uso del concreto ligero, por lo que la presente investigación usa normas extranjeras como el ACI (American concrete institute) y la ASTM (American Society for Testing and Materials). Estas normas brindan una fuente teórica-práctica para el diseño del concreto ligero y una guía para su aplicación como elementos prefabricados o concreto ligero in situ.

El concreto ligero se clasifica según su composición en concreto sin finos, concretos con agregados ligeros o concretos celulares, este último se subdivide en concreto con agentes químicos y concreto espumoso. El concreto espumoso se obtiene de la mezcla del mortero con espuma preformada o intrusión de aire, este concreto se caracteriza por tener densidades muy bajas en comparación con los concretos ligeros sin finos y de agregado ligero.

Para la presente investigación, el aditivo espumoso que se va a utilizar para obtener un concreto espumoso es el aditivo Lightcrete de la empresa Sika, este aditivo de aspecto líquido y de totalidad amarillenta genera la espuma durante el proceso de mezclado. La cantidad de aditivo a utilizar es de 0.5 a 4 kg por m³ de concreto, para determinar la cantidad exacta de aditivo en el diseño de concreto con una densidad establecida se realiza tres diseños con cantidad de 0.5, 2.25 y 4 kg de aditivo, los resultados de peso unitario fresco para los tres casos se grafican y mediante una iteración se determina la cantidad de aditivo para la

densidad establecida. De los diseños determinados se realizarán los ensayos de concreto endurecido, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cubos de concreto de 10x10x10 cm se comparará con la resistencia mínima de 4.15 Mpa para unidades de albañilería de tipo no estructural (NTP 399.600). El diseño que cumpla con la resistencia mínima se aplicará a unidades de albañilería el cual se le realizará los ensayos respectivos para su comparación con el sistema de albañilería convencional.

Para la conductividad térmica del concreto no se tiene una normativa para el cálculo de este valor, para su determinación se realizará un procedimiento experimental con la ayuda de un laboratorio con los equipos necesarios. La base teórica para la determinación de la conductividad térmica es la ley de Fourier.

El estudio y aplicación del concreto ligero de la presente investigación tiene como motivo dar una opción nueva de sistema de construcción para las viviendas ubicadas en las zonas con climas muy fríos del Perú, las buenas propiedades térmicas y acústicas resuelve en parte el problema de la afectación del friaje a la salud de las personas alto andinas.

1.2 PROBLEMÁTICA

En la actualidad el mayor peso que actúa sobre una estructura es principalmente por la carga muerta en donde se encuentra casi en su totalidad el peso del concreto. El principal problema de esto es que el concreto tiene un elevado peso unitario.

Los bloques de concreto como unidades de albañilería son costosos y poco trabajables al momento de su aplicación en muros de albañilería o en tabiquería para divisiones de ambientes.

Los muros de albañilería de bloques de concreto tienen alta conductividad térmica. La conductividad térmica del concreto varía entre 0.35 a 1.4 W/m.K (Watt por Kelvin y metro) los cuales son valores muy altos, en cambio la conductividad térmica del concreto ligero está entre 0.10 a 0.25 W/m.K, lo que permite a las estructuras hechas con este tipo de concreto mantener la temperatura.

La presencia de los últimos eventos sísmicos en la actualidad pone en alerta a todas las personas ya que la mayoría de las estructuras o edificaciones construidas son de concreto y estas en un evento sísmico por su gran peso son un peligro latente. La fuerza sísmica depende directamente de la masa de la

estructura; entonces si la masa de la estructura se reduce utilizando concreto ligero se estaría reduciendo la fuerza sísmica sobre la estructura hasta en un 50%.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Encontrar el diseño de mezcla para elaborar concreto ligero utilizando aditivo espumante y cemento Portland tipo I aplicado a unidades de albañilería no estructural en Lima.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar las propiedades del concreto ligero en estado fresco y endurecido utilizando aditivo espumante y cemento Portland tipo I.
- Elaborar unidades de albañilería de tipo no estructural.
- Realizar ensayos de control de calidad en unidades y muretes de albañilería.

1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La investigación “Concreto ligero: Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones” de Short y Kinniburgh (1967), es una investigación completa del concreto ligero. Se realiza una clasificación de los tipos de concreto según sus componentes: concreto sin finos, concreto con agregados de peso ligero y concreto aireado, para cada caso se desarrolla un estudio de diseño, fabricación y aplicación en la construcción.

La tesis profesional “Estudio sobre concreto celular” de Velarde Huapaya (1984), básicamente el autor hace un estudio completo del concreto celular que es un concreto ligero. El estudio tiene dos partes: La primera parte muestra la definición, composición, procesos de fabricación, aplicaciones, propiedades físicas, etc. En la segunda parte muestra los ensayos realizados en el laboratorio obteniendo concreto de baja densidad y baja conductividad térmica.

La tesis profesional “Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural” de Ninaquispe Manchego (2007), se realiza el estudio del concreto celular con aplicación a unidades de albañilería no estructural. El principal objetivo de esta tesis es definir el diseño de mezcla para conseguir un adecuado concreto celular utilizando como aditivo el polvo de aluminio. El resultado esperado de este estudio fue la obtención de bloques de concreto celular de bajo peso unitario,

trabajabilidad para muros de albañilería, bajo costo y mejores propiedades térmicas.

La investigación “Estudio del rendimiento del concreto ligero” de Sarje y Autade (2014), se realiza un estudio del concreto Ligero utilizando como aditivo la ceniza volante, las pruebas realizadas son los ensayos de compresión, absorción de agua y prueba de flexión.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 NORMATIVIDAD

La normativa relacionada con el concreto ligero son las normas internacionales ASTM (American Society for Testing and Materials) y ACI (American concrete institute), en estas normas se encuentra las definiciones, aspectos teóricos, guías de uso y diseño del concreto ligero, se muestras a continuación estas normas:

- ASTM C125: “Standard Terminology relating to Concrete and Concrete Agregates”. Esta norma muestra la terminología referente al concreto y a los agregados del concreto.
- ASTM C796: “Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam”. Esta norma es un método de prueba, proporciona una forma de medir en el laboratorio el desempeño del químico espumante, el cual se usa en la producción de espuma para luego fabricar el concreto celular.
- ASTM C869: “Standard Specification for Foaming agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete”. Esta norma muestra especificaciones estándar para los agentes espumantes preformados, se muestra requisitos de densidad, resistencia, absorción de agua y pérdida de aire durante el bombeo.
- ACI 523.1R: “Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete”. Es una guía que muestra definiciones y recomendaciones para el uso del concreto celular in situ.
- ACI 523.1R: “Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units”. Es una guía que muestra definiciones y recomendaciones para el uso del concreto celular Prefabricado.
- ACI 523.3R: “Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)”. Esta guía además de mostrar conceptos sobre el concreto celular muestra cómo realizar el diseño del concreto celular, la presente investigación utiliza esta norma para el diseño del concreto ligero.

La normativa de referencia para los ensayos del concreto en estado fresco y endurecido, los agregados, el cemento y las unidades de albañilería son las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

2.2 CONCRETO

2.2.1 Definición

EL concreto es un material artificial originado por la mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, encargado de unir a los agregados (arena o piedra chancada) está formado por agua y cemento. En algunos casos se hace uso de aditivos que ayudan a mejorar o modificar algunas de las propiedades del concreto como la resistencia, trabajabilidad, tiempo fragua, etc.

2.2.2 Tipos de concreto según su densidad

El concreto se clasifica según su densidad de la siguiente manera:

Concreto Pesado: “concreto que normalmente se logra con el uso de agregado de alta densidad” (NTP 339.047, 2006, p.7). Se usa principalmente en estructuras de protección contra radiaciones. Tiene como beneficios su alta densidad y utilización de elementos con menor espesor.

Concreto de peso normal: “tipo de concreto producido con agregados de densidad normal, frecuentemente piedra triturada o grava, y que tiene una densidad de aproximadamente 2400 kg/m^3 ” (NTP 339.047, 2006, p.7). Se usa en elementos prefabricados y en todo tipo de estructuras en general.

Concreto Ligero: “concreto cuya densidad es sustancialmente menor que la del concreto de peso normal” (ACI 116, 2006, p.56). Se usa en capas de nivelación de pisos y losas, y en la elaboración de elementos prefabricados. Los beneficios que ofrece es el aislamiento termo-acústico, alta trabajabilidad, disminución de la carga muerta, fácil de cortar y muy resistente al fuego.

2.2.3 Concreto Ligero

2.2.3.1 Definición

El concreto ligero es un material que está conformado por agregado, cemento, agua y aditivo, a diferencia del concreto convencional para obtener el concreto ligero se utiliza agregado de baja densidad o aditivos generadores de burbujas de aire. Este material tiene como característica principal una baja densidad y por lo general baja resistencia respecto al concreto convencional; a pesar de ellos, el concreto ligero tiene muchas aplicaciones en diferentes tipos de estructuras, como departamentos, viviendas, colegios, etc., donde no se requiere un concreto de alta resistencia. El uso del concreto ligero ha tenido una gran acogida en los diferentes

países del mundo debido a los beneficios que ofrece su aplicación en el rubro de la construcción.

Los beneficios principales que se obtiene de las propiedades del concreto ligero son el bajo peso (carga muerta), el alto poder acústico y buen aislante térmico, debido a esta última propiedad el crecimiento de su uso se dio en su mayoría en países europeos de climas fríos. Además, como otros beneficios se tiene la reducción de tiempos de construcción y reducción del costo de la obra como resultado directo de su aplicación.

2.2.3.2 Tipos de concreto ligero

El concreto ligero se clasifica de dos formas las cuales están en función a su densidad y el material que la compone (ver Figura N° 2.1 y Figura N° 2.2).

- **Según su densidad se clasifica de la siguiente manera:**
 - a) Concreto ligero de baja resistencia: 280 a 800 kg/m³, alto aislamiento térmico.
 - b) Concreto ligero de resistencia moderada: 800 a 1400 kg/m³, moderado aislamiento térmico.
 - c) Concreto ligero de resistencia estructural: 1400 a 2100 kg/m³, bajo aislamiento térmico.

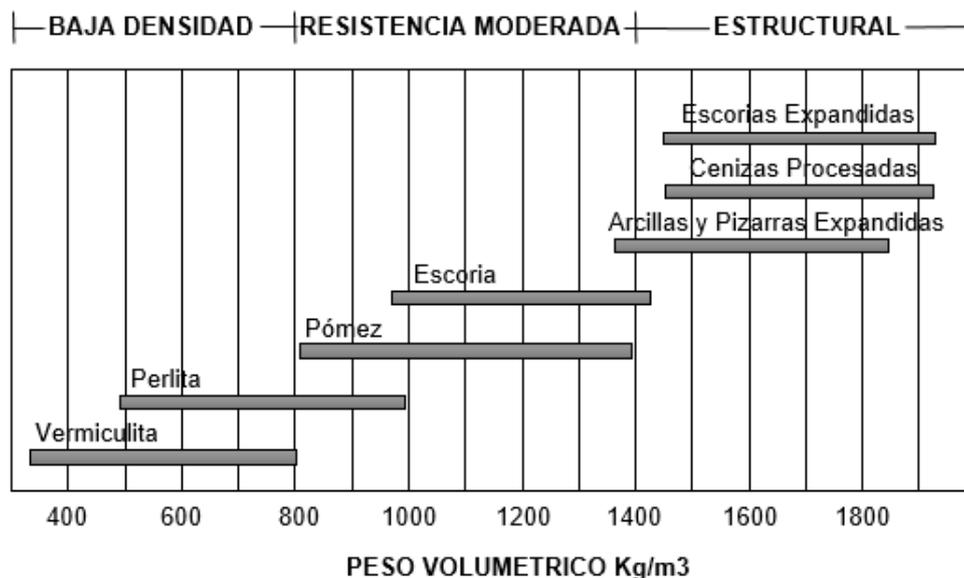


Figura N° 2.1 Clasificación del concreto ligero en base al grado de resistencia y su densidad con los distintos agregados que la componen.

Fuente: Short y Kinniburgh (1967)

- **Según el material que la compone y los métodos de fabricación se clasifica de la siguiente manera:**
 - a) **Concretos sin finos:** se obtiene quitando el agregado fino de la mezcla, produciendo así vacíos entre las partículas del agregado grueso, aligerando de este modo el producto final.
 - b) **Concreto de agregados ligeros:** se obtiene utilizando agregados naturales o artificiales de muy baja densidad en la mezcla
 - c) **Concretos celulares:** la ligereza de este concreto es consecuencia de la formación de burbujas de gases en el momento en que entra en contacto con la lechada de cemento, es conocido también como concreto espumosos, gaseosos o aireados.

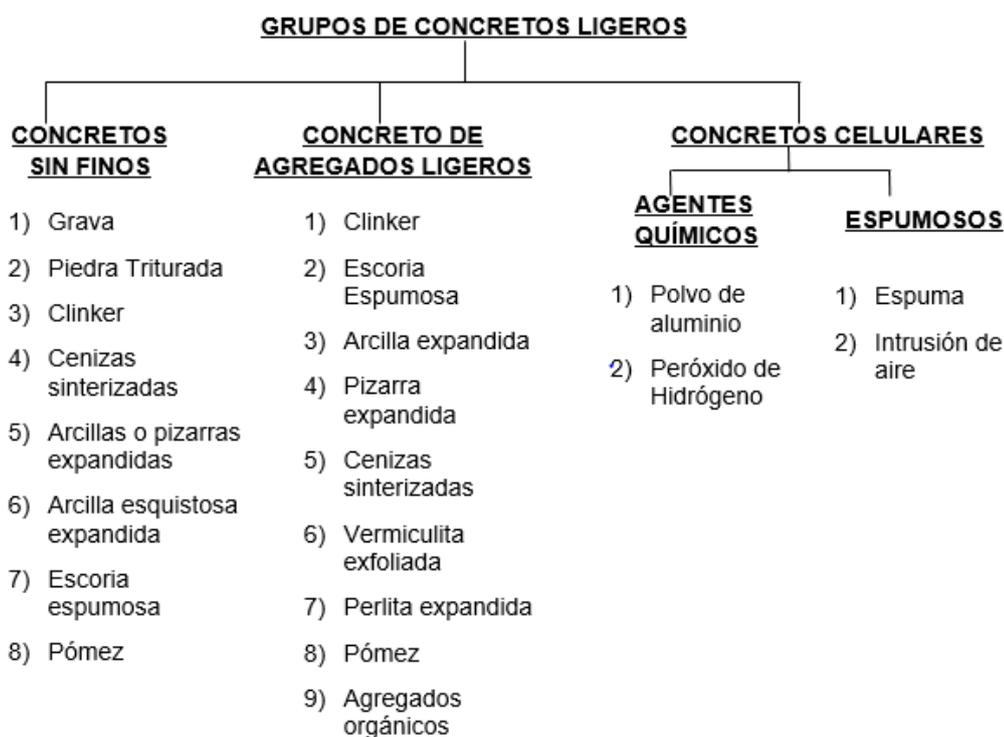


Figura N° 2.2 Clasificación del concreto ligero en base al material que la compone.

Fuente: Short y Kinniburgh (1967)

La norma ASTM C125 (2010) define al concreto celular como: “Un concreto de cemento hidráulico liviano que tiene un vacío homogéneo o una estructura celular obtenida usando químicos formadores de gas o agentes espumantes” (p.3).

Para el concreto celular que tiene agentes químicos, la formación de gas puede ilustrarse en forma cualitativa de la siguiente manera:

- 1) Polvo de Aluminio + Cal Hidratada + Agua \rightarrow Aluminato Tricalcico Hidratado + Hidrógeno
- 2) Polvo blanqueador a base de cloro y calcio + Peróxido de Hidrógeno \rightarrow Cloruro de Calcio + Agua + Oxígeno

2.2.4 Concreto Espumoso

2.2.4.1 Definición

El ACI 116 (2002) define al concreto espumoso como: “El concreto que se hace muy liviano y celular añadiendo una espuma preparada o generando gas dentro de la mezcla no endurecida” (p.55). Se obtiene al mezclar el agente espumoso con agua, esta dilución genera la espuma que será incluida en la mezcla del concreto convencional durante el mezclado, se debe realizar un mezclado vigoroso durante un tiempo necesario según su diseño.

2.2.4.2 Usos del concreto espumoso

Los usos que presenta el concreto espumoso están en función al estado de aplicación en la obra, in situ o prefabricado.

En estado in situ el concreto se elabora en obra siguiendo el diseño establecido de laboratorio, para esto se utiliza los equipos necesarios como mezcladora de concreto, máquina generadora de espuma y herramientas complementarias. Se usan en rellenos de suelos, base para pavimentos, mortero de nivelación de pisos, relleno de zanja y relleno de tuberías.

En estado prefabricado del concreto espumoso se determina según su densidad, según el Capítulo Estudiantil ACI USAC-Quetzaltenango (2015) estos usos son los siguientes: Densidades de 300 a 600 kg/m³ logradas con cemento y espuma solamente, este material se utiliza en azoteas y pisos. Densidad de 600 a 900 kg/m³ logradas con arena, cemento y espuma, se usan en la fabricación de bloques y paneles para paredes de revestimiento o divisorias, losas para cielos rasos, capas de aislamiento térmico y acústicos en edificios residenciales y comerciales de varios pisos. Densidad de 900 a 1200 kg/m³ se utiliza en bloques y paneles de concreto para capas externas de edificios, paredes divisorias, losas para techos y pisos.

2.2.4.3 Ventajas del concreto espumoso

Las ventajas que presenta el concreto espumoso se debe principalmente a las burbujas de aire distribuidos uniformemente en su estructura, estas burbujas de aire que no están unidas entre sí le confieren propiedades particulares al concreto. Según Short y Kinniburgh (1967), se menciona las siguientes ventajas del concreto espumoso.

- Concreto liviano: la densidad se encuentra en el rango de 300 kg/m³ a 2000 kg/m³, esto hace que el concreto sea trabajable y de fácil transporte.
- Aislamiento térmico: la baja conductividad térmica que tiene el concreto espumoso mantiene la temperatura dentro del ambiente, es adecuado para zonas con temperaturas extremas (frio y calor).
- Aislamiento acústico: debido a la distribución uniforme de las burbujas de aire dentro de la estructura del concreto espumoso permite el aislamiento acústico en los ambientes.
- Resistencia ignífuga: la baja conductividad térmica y la presencia de burbujas de aire dentro de su estructura hacen que el concreto espumoso tenga mejor resistencia al fuego que el concreto convencional.
- Reducción de tiempo de ejecución: debido a que el concreto es liviano los elementos prefabricados son de mayor dimensión, esto hace que se ejecute el trabajo en menor tiempo.
- Facilidad de corte: el concreto espumoso se puede cortar hasta con un serrucho reduciendo al mínimo las pérdidas, los trabajos realizados son más limpios, con esto se evita el uso de máquinas vibratoras y cortadoras que debilitan y dañan la estructura.
- Reducción del costo de mano de obra: debido a que el tiempo de ejecución del concreto es menor respecto al concreto convencional el costo de mano de obra se reduce.

2.3 CEMENTO PORTLAND

La NTP 334.001 (2001) define al cemento portland como: “El cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker de portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda” (p.7).

2.3.1 Clasificación del Cemento Portland

El Cemento portland se clasifica en cinco tipos, las propiedades de cada tipo están especificadas en la norma ASTM C150, se muestra los siguientes tipos:

- TIPO I: Tipo de cemento para uso general en la construcción.
- TIPO II: Tipo de cemento con moderada resistencia a la acción de los sulfatos, produce moderado calor de hidratación.
- TIPO III: Este tipo de cemento tiene un desarrollo rápido de la resistencia. Se utiliza para obtener concreto endurecido en corto tiempo, produce alto calor de hidratación idóneo para climas fríos.
- TIPO IV: Este tipo de cemento produce bajo calor de hidratación, se usa para grandes volúmenes de concreto.
- TIPO V: Este tipo de concreto es de alta resistencia al ataque de sales, se usa en concreto expuesto a los suelos y al agua.

La norma ASTM C595 muestra especificaciones para los cementos adicionales hidráulicos, se muestran algunos tipos de cemento referente a esta norma:

TIPO IS: Es un tipo de cemento Portland de escoria de altos hornos.

TIPO IP: Es un tipo de cemento puzolánico Portland, contiene un porcentaje de 15% de puzolanas, esta propiedad permite retener agua, es ideal para climas calurosos.

2.3.2 Densidad

La NTP 334.005 (2011) define la densidad del cemento Portland como: “La masa de una unidad de volumen de los sólidos del cemento Portland” (p.2).

El cálculo de la densidad según la NTP 334.005 se determina mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

ρ : Densidad del cemento Portland, g/cm³

m: Masa del cemento Portland que se introduce en el frasco volumétrico de Le Chatelier, g

v: volumen desplazado después de introducir el cemento en el frasco volumétrico, cm^3 .

2.3.3 Tiempo de Fragua

La NTP 334.006 muestra los procedimientos para el desarrollo del ensayo del tiempo de fraguado. El fraguado se define como:

Condición alcanzada por una pasta, mortero o concreto de cemento cuando este ha perdido plasticidad a un grado arbitrario, generalmente medido en términos de resistencia a la penetración; fraguado inicial se refiere a la primera rigidez; fraguado final se refiere a la adquisición de una rigidez significativa. (NTP 334.001, 2001, p.11)

2.3.4 Superficie Específica

La NTP 334.002 muestra los procedimientos para el desarrollo del ensayo de la finura del cemento expresada por la superficie específica. La finura del cemento se define como:

Expresión de finura de un material pulverulento, como el cemento, puzolanas, etc., determinado como el área superficial del conjunto de partículas en metros cuadrados por kilo. El ensayo Blaine cuantifica dicho valor al evaluar la permeabilidad al aire de una muestra preparada en condiciones normalizadas. (NTP 334.001, 2001, p.5)

2.4 CAL

La Norma Española UNE-EN 459-1 (2011) indica que la cal es el hidróxido de calcio o óxido de calcio, y óxido de calcio y magnesio o hidróxido de calcio y magnesio, resultado de la calcinación del carbonato de calcio natural (caliza, creta, conchas) o del carbonato de magnesio y calcio natural (caliza dolomítica, dolomía).

2.4.1 Clasificación de la cal

La Figura N° 2.3 muestra la clasificación de la cal según la Norma Española UNE-EN 459-1:

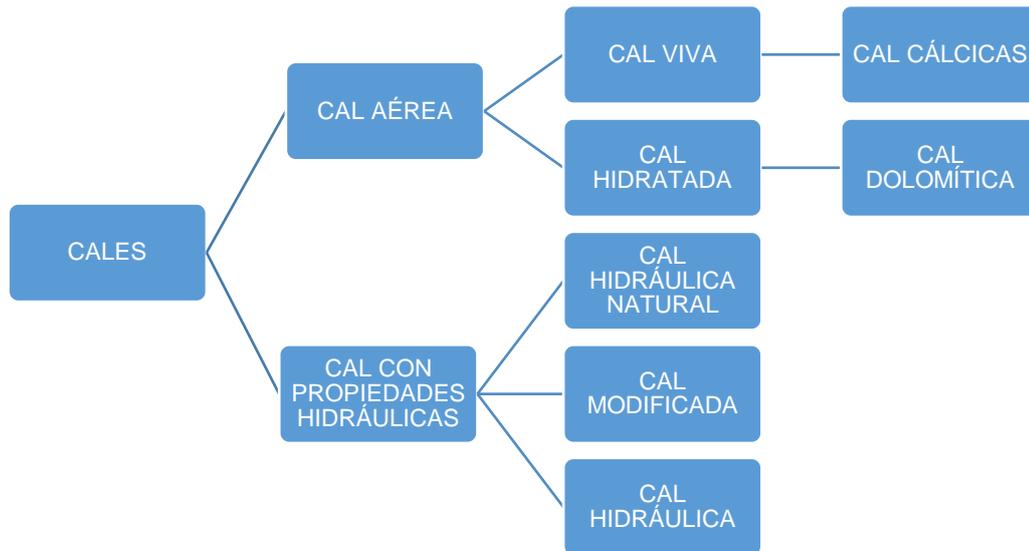


Figura N° 2.3 La familia de las cales.

Fuente: Norma UNE-EN 459-1

Según la Norma Española UNE-EN 459-1 los distintos tipos de cales se definen como:

Cal viva: Es una cal aérea que mayormente está en forma de óxido, que en contacto con el agua reacciona exotérmicamente.

Cal hidratada: Es una cal aérea que mayormente está en forma de hidróxido, es el resultado del apagado de la cal viva.

Cal hidráulica natural: Es una cal con propiedades hidráulicas generadas por la calcinación de calizas más o menos arcillosas o silíceas (incluyendo la creta) con reducción a polvo mediante apagado con o sin molienda.

Cal formulada: Es una cal con propiedades hidráulicas constituidas mayormente por cal aérea (CL) o Cal hidráulica natural (NHL) con material hidráulico o puzolánico.

Cal hidráulica: Es un conglomerante formado por cal y otros materiales como escoria de alto horno, cemento, fíller calizo, cenizas volantes. Tiene como propiedad principal fraguar y endurecer con el agua. El dióxido de carbono del aire también contribuye al proceso de endurecimiento. (UNE-EN 459-1, 2011, p.19)

2.5 AGREGADO FINO

La NTP 400.011 (2008) define al agregado fino como: “Agregado artificial de rocas o piedras provenientes de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037” (p.4).

2.5.1 Densidad relativa (Peso específico)

Según la NTP 400.022 (2013) se define como: “La relación de la densidad (OD) del agregado a la densidad del agua a una temperatura indicada” (p.6).

El cálculo del peso específico de masa se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad Relativa (Gravedad Especifica)(OD)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno, g

B: Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g

C: Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g, y

S: Masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad con ambos procedimientos), g.

2.5.2 Porcentaje de absorción

Según la NTP 400.022 (2013) se define como: “El aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra los poros de las partículas, durante un tiempo prescrito, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior, se expresa como porcentaje de la masa seca” (p.5).

El cálculo de la absorción se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno, g

S: masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad con ambos procedimientos), g.

2.5.3 Peso unitario (Densidad de masa)

La NTP 400.017 (2011) lo define como: “Masa de una unidad de volumen de la masa material del agregado, en que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, expresado en kg/m^3 ” (p.3).

Para el desarrollo del ensayo del peso unitario del agregado la NTP 400.017 establece los procedimientos y cálculos de dicho ensayo. El cálculo del peso unitario (densidad de masa) se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$PU_S = \frac{W_S}{V_R}$$

$$PU_C = \frac{W_C}{V_R}$$

Donde:

PU_S : Peso unitario suelto, kg

PU_C : Peso unitario suelto, kg

W_S : Peso seco del agregado suelto, kg

W_C : Peso seco del agregado suelto, kg

V_R : Volumen del recipiente, m^3 .

2.5.4 Granulometría

Es la distribución de los tamaños del agregado según tamices normalizados por la NTP 400.011. Se tiene además la NTP 400.012, la cual establece el procedimiento del ensayo granulométrico del agregado fino, grueso y global.

La NTP 400.037 establece rangos permisibles para cada tamiz normalizado, se muestra a continuación la Tabla N° 2.1 con los rangos permisibles del agregado fino.

Tabla N° 2.1 Granulometría para el agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (N°4)	95 a 100
2,36 mm (N°8)	80 a 100
1,18 mm (N°16)	50 a 85
600 μm (N°30)	25 a 60
300 μm (N°30)	05 a 30
150 μm (N°100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana

2.5.5 Módulo de finura

La NTP 400.011 (2008) lo define como: “El factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividida por 100” (p.8). La NTP 400.037 establece el rango permisible del módulo de finura para agregados finos el cual va de 2.3 a 3.1.

El cálculo del módulo de finura se determina mediante la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulado retenido (N}^\circ 100, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 4, \frac{3}{8} \text{''}, \frac{3}{4} \text{''}, 1 \frac{1}{2} \text{''})}{100}$$

2.5.6 Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en estado natural o húmedo. El cálculo del porcentaje de contenido de humedad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{w_n - w_d}{w_d}$$

Donde:

CH: Contenido de Humedad, %

w_n : Peso en estado natural o húmedo del agregado, g

w_d : Peso seco al horno del agregado, g.

2.5.7 Cantidad que pasa por la malla N°200

Es la cantidad de material muy fino (material que pasa la malla N°200) que contiene el agregado respecto al total de la muestra, este material en grandes porcentajes altera las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido como el incremento del requerimiento de agua y la resistencia a la compresión respectivamente.

La NTP 400.037 establece el porcentaje máximo de material más fino que la malla N°200 que debe contener el agregado fino, en la Tabla N° 2.2 se muestra este porcentaje máximo.

Tabla N° 2.2 Porcentaje máximo de material más fino que la malla N°200.

Ensayo	Porcentaje del total de la muestra (máx.)
Material más fino que la malla normalizada 75 μm (N° 200):	
Concreto sujeto a abrasión	3
Otros concretos	5

Fuente: Norma Técnica Peruana

2.6 ADITIVO ESPUMANTE

2.6.1 Definición

Según Short y Kinniburgh (1967) los agentes espumantes son elementos que a través de cambios físicos (proceso de agitación) forman estructuras cerradas de burbujas de aire o espuma. Velarde (1984) menciona que los agentes espumantes están compuestos principalmente por colofonias, surfactante sintético y proteínas.

- La colofonia es el principal generador de agentes espumantes. Según la RAE la colofonia se define como “resina sólida, producto de la destilación de la trementina, empleada en farmacia y para otros usos”. Incluye principalmente los polímeros calientes de colofonia y el jabón de colofonia.
- Los agentes tensoactivos sintéticos son un tipo de agente espumante que tienen las siguientes ventajas: fácil producción de espuma y mayores tiempos de formación de espuma. Como desventajas principales los agentes tensoactivos sintéticos tienen una pared espumosa delgada, poca estabilidad de la espuma y gran influencia en la resistencia del concreto. Este elemento se encuentra en los jabones y detergentes sintéticos.
- Las proteínas son sustancias formadas por una cadena de aminoácidos, las proteínas se dividen en proteínas vegetal y animal. Los agentes espumantes de proteínas vegetales incluyen a las saponinas que son compuestos con características similares al jabón, estos compuestos son solubles en agua y forman espuma cuando se le agita en agua, las saponinas se extraen de las camellias. Los agentes espumantes de proteína animal incluyen pelo, cuerno y sangre hidrolizada de animal.

2.7 DISEÑO DE MEZCLA

2.7.1 Generalidades

No existe un diseño de mezcla único para el concreto ligero debido a que depende de muchos factores como: la composición del agregado, densidad del agregado, porosidad del agregado, el tipo de aditivos espumantes y la distribución de las burbujas de aire en el concreto.

EL instituto americano del concreto (ACI) tiene un estudio más amplio del concreto ligero, mediante ensayos de laboratorio el ACI ha podido elaborar diferentes tipos de normas y guías de laboratorio donde se muestran definiciones, procedimientos, requisitos y diseños del concreto ligero.

Se describe a continuación las diferentes normas y guías de laboratorio elaboradas por ACI para el concreto ligero:

- El ACI 213.R-14 “Guía para concreto estructural de agregado ligero”, esta guía proporciona información y pautas que servirán para el uso y diseño del concreto ligero.
- El ACI 211.2-98 “Practica estándar para seleccionar proporciones para concreto liviano estructural”, esta norma proporciona métodos aplicables para seleccionar y ajustar las proporciones de mezcla para concreto estructural ligero, esta norma también es aplicable para concreto donde se combine agregado de peso ligero y peso normal.
- El ACI 523.1R.06 “Guía para el concreto celular de baja densidad moldeados en el lugar”, esta guía proporciona información sobre los materiales, las propiedades, el diseño, la manipulación adecuada y las aplicaciones del concreto celular de baja densidad (densidades menores a 800 kg/m^3) vaciados in situ.
- El ACI 523.2R. 96 “Guía para unidades de piso, techo y pared de concreto celular prefabricado”, esta guía proporciona información sobre materiales, propiedades, diseño y manejo de unidades de piso, techo y paredes de concreto prefabricado de baja densidad (densidades menores a 800 kg/m^3).

2.7.2 Método de diseño utilizado

EL método de diseño utilizado para la presente investigación es la que indica la guía de laboratorio ACI 523.3R-14 “Guía para concreto celular por encima de 50 lb/ft³ (800 kg/m³)”. Esta guía proporciona un procedimiento claro para el cálculo de las cantidades de agregado fino (arena), cemento, aditivo espumante y agua para 1 m³ de concreto ligero. Para el cálculo de dichas cantidades esta guía muestra las siguientes ecuaciones:

- Relación de la densidad del concreto fresco y endurecido:

$$\gamma_f = \gamma_s + 122$$

- Relación agua cemento:

$$\frac{a}{c} = 0.45 \text{ a } 0.6$$

- Relación arena cemento:

$$\frac{ar}{c} = \frac{(\gamma_f - 673)}{345}$$

- Cantidad de cemento:

$$c = \frac{\gamma_f}{\left(1 + \frac{a}{c} + \frac{ar}{c}\right)}$$

Donde:

a: Cantidad de agua por metro cubico de concreto, kg/m³

ar: Cantidad de arena por metro cubico de concreto, kg/m³

c: Cantidad de cemento por metro cubico de concreto, kg/m³

γ_s : Densidad del concreto seco, kg/m³

γ_f : Densidad del concreto fresco, kg/m³

2.8 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

La unidad de albañilería es la unidad echa de arcilla, adobe, sílico calcáreo o concreto, se utiliza para la construcción de muros estructurales o tabiquería en edificaciones. Las unidades de albañilería pueden ser sólidas, tubulares o huecas dependiente del tipo de muro a construir. La NTP 399.604 establece los procedimientos de los diferentes tipos de ensayo de control de calidad para las unidades de albañilería.

2.8.1 Resistencia a la compresión

Según la norma NTP 399.602 (2002) se define como: “La relación entre la carga de rotura a compresión de un bloque y su sección bruta o neta” (p.4).

La norma NTP 399.604 establece dos formas de cálculo del esfuerzo de compresión en unidades de albañilería, estas ecuaciones se muestran a continuación.

- Esfuerzo de compresión del área neta

$$f_n = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_n}$$

Donde:

f_n : Esfuerzo de compresión del área neta, kg/cm²

$P_{m\acute{a}x}$: Carga de compresión máxima, kg

A_n : Área neta promedio del espécimen, cm².

- Esfuerzo de compresión del área bruta

$$f_b = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_b}$$

Donde:

f_b : Esfuerzo de compresión del área bruta, kg/cm²

$P_{m\acute{a}x}$: Carga de compresión máxima, kg

A_b : Área bruta promedio del espécimen, cm².

La NTP 399.600 muestra los valores mínimos de resistencia a la compresión que deben cumplir los bloques de concreto ligero de uso no estructural (ver Tabla N° 2.3).

Tabla N° 2.3 Requisitos de resistencia a la compresión del bloque de concreto de uso no estructural, NTP 399.600.

Resistencia a la compresión respecto al área bruta promedio, mín, Mpa	
Promedio de 3 unidades	4.2
Unidad individual	3.5

Fuente: Norma Técnica Peruana

2.8.2 Variaciones permisibles en las dimensiones

La NTP 399.613 establece los procedimientos para obtener los valores promedios de las dimensiones de las unidades de albañilería. La NTP 399.600 indica que las dimensiones de largo, ancho y alto no deben diferir de ± 3 mm las dimensiones estándar.

2.8.3 Contenido de Humedad

La NTP 399.604 establece los procedimientos para el desarrollo del ensayo de contenido de humedad de unidades de albañilería. El cálculo del contenido de humedad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de humedad, \% de absorción total} = \frac{W_r - W_d}{W_s - W_d} \times 100$$

Donde:

W_r : Peso recibido del espécimen, kg

W_d : Peso seco al horno del espécimen, kg

W_s : Peso saturado del espécimen, kg.

2.8.4 Absorción

Según la NTP 399.602 (2002) la absorción se define como: “La capacidad de inhibición de agua por inmersión en las condiciones especificadas en la NTP 399.604” (p.3).

La NTP 399.604 establece los procedimientos para el desarrollo del ensayo de absorción de unidades de albañilería. El cálculo de la absorción se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Absorción, kg/m}^3 = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 1000$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

Donde:

W_s : Peso saturado del espécimen, kg

W_i : Peso sumergido del espécimen, kg

W_d : Peso seco al horno del espécimen, kg.

La NTP 399.602 muestra una tabla con los valores máximos de absorción en kg/m^3 para cada tipo de densidad de unidades de albañilería, la Tabla N° 2.4 que se muestra a continuación muestran dichos valores:

Tabla N° 2.4 Requisito de absorción y clasificación por densidad, NTP 399.602.

Clasificación por densidad	Densidad seca al horno, kg/m^3	Absorción máxima, kg/m^3	
	promedio de 3 unidades	promedio de 3 unidades	unidades individuales
Peso liviano	1680	288	320
Peso medio	1680 - 2000	240	272
Peso normal	2000 a más	208	240

Fuente: Norma Técnica Peruana

2.8.5 Densidad (Peso Unitario)

La NTP 399.604 establece los procedimientos para el desarrollo del ensayo de la densidad de unidades de albañilería. El cálculo de la densidad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{W_d}{W_s - W_i} \times 1000$$

Donde:

D: Densidad del espécimen, kg/m^3

W_s : Peso saturado del espécimen, kg

W_i : Peso sumergido del espécimen, kg

W_d : Peso seco al horno del espécimen, kg.

2.8.6 Contenido de Vacíos

Se tiene la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41017 h21 como normativa de referencia el cual establece los procedimientos para el desarrollo del ensayo de contenido de vacíos del concreto endurecido. El cálculo de la densidad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{W_C - W_A}{W_C - W_D} \times 100$$

Donde:

W_A : Masa de muestra seca al horno, g

W_c : Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g

W_D : Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g.

2.8.7 Conductividad Térmica

2.8.7.1 Definición

La Conductividad Térmica es la capacidad de conducción de calor entre dos sistemas de diferentes temperaturas. La constante de conductividad térmica es el valor numérico que mide esta capacidad y se representa por la letra k . siendo su unidad en Vatio por metro grado Kelvin (W/m.K).

2.8.7.2 Medición y cálculo de la conductividad térmica de un material

El valor de la conductividad térmica se determina mediante un proceso experimental en el laboratorio, según la clasificación del material (sólido, líquido y gaseoso) se tiene diferentes métodos para su aplicación.

Para el caso de los materiales sólidos se tiene dos métodos. El método secundario de la barra cilíndrica; este método se aplica a los sólidos conductores. El método primario de la placa caliente con guarda; este método se aplica a los sólidos no conductores, la norma ASTM C177 "Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus" indica las pautas para el desarrollo de este método. Este último método es el correcto para medir la conductividad térmica del concreto ligero.

La conductividad térmica tiene como fundamento teórico la Ley de Fourier, el cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{h}$$

Donde:

k = conductividad térmica, W/m.K

ΔQ = calor transferido en un intervalo de tiempo Δt , J

Δt = variación de tiempo durante el proceso de transferencia de calor, s

A_t = área de la sección transversal del espécimen, m²

ΔT = diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente, K

h = espesor del espécimen, m.

Se muestra a continuación la Figura N° 2.4 el cual muestra el esquema gráfico de los parámetros de la Ley de Fourier:

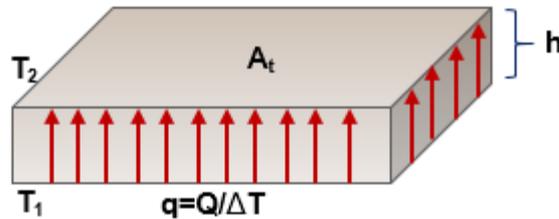


Figura N° 2.4 Esquema gráfico de los parámetros de la Ley de Fourier.

Fuente: Elaboración Propia

2.8.8 Resistencia a la compresión de pilas

La NTP 399.605 establece los procedimientos para el desarrollo del ensayo de la resistencia a la compresión de albañilería. El cálculo de la resistencia a la compresión de albañilería se determina mediante los siguientes pasos:

- i. Se calcula la resistencia del prisma de albañilería mediante la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_n}$$

- ii. Se calcula la resistencia a la compresión de albañilería mediante la siguiente ecuación.

$$f_{mt} = f_m \times \text{Factor de corrección}$$

Donde:

f_m : Resistencia del prisma de albañilería, kg/cm^2

f_{mt} : Resistencia a la compresión de albañilería, kg/cm^2

$P_{m\acute{a}x}$: Carga de compresión máxima, kg

A_n : Área neta promedio del espécimen, cm^2 .

El cálculo de la relación h_p/t_p resulta de dividir la altura (h_p) y la menor dimensión lateral (t_p) del prisma. El factor de corrección se determina mediante interpolación lineal de los valores de la Tabla N° 2.5.

La NTP 399.605 (2013) indica que los prismas serán “fabricados con una altura mínima de dos unidades, con una relación alto-espesor, h_p/t_p , entre 1.3 y 5.0” (p.6). La Tabla N° 2.5 muestra los valores del factor de corrección para la resistencia en compresión de prismas de albañilería según la NTP 399.605.

Tabla N° 2.5 Factor de corrección de altura/espesor para la resistencia en compresión de prismas de albañilería, NTP 399.605.

h_p/t_p	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5
Factor de corrección	0.75	0.86	1	1.04	1.07	1.15	1.22

Fuente: Norma Técnica peruana

2.8.9 Resistencia a la compresión diagonal de muretes

La NTP 399.621 establece los procedimientos para el desarrollo del ensayo de la resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería. El cálculo de la resistencia a la compresión diagonal de albañilería se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$v_m = \frac{0.707P_{m\acute{a}x}}{A_b}$$

Donde:

v_m : Esfuerzo cortante sobre el área bruta de la diagonal, kg/cm^2

$P_{m\acute{a}x}$: Carga máxima aplicada, kg

A_b : Área bruta de la diagonal cargada del murete, cm^2 , se calcula de siguiente manera:

$$A_b = \left(\frac{L + H}{2}\right)t$$

Donde:

L: Largo del murete, en cm

H: Altura del murete, cm

t: Espesor total del murete, cm.

CAPÍTULO III: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

3.1 PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

3.1.1 Densidad Relativa (P.E)

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Tabla N° 3.1 como resumen:

Tabla N° 3.1 Resumen de la densidad relativa (peso específico) del agregado fino.

DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO)	
TIPO DE DENSIDAD REALTIVA	P.E (g/cm ³)
Densidad Relativa (OD)	2.59
Densidad Relativa (sss)	2.64
Densidad Relativa (aparente)	2.71

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Porcentaje de Absorción (Abs)

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Tabla N° 3.2 como resumen:

Tabla N° 3.2 Resumen del porcentaje de absorción del agregado fino.

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	
Absorción (%)	1.67

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 Peso Unitario (P.U)

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Tabla N° 3.3 como resumen:

Tabla N° 3.3 Resumen del peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

PESO UNITARIO (DENSIDAD DE MASA)	
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1548.19
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1706.97

Fuente: Elaboración Propia

3.1.4 Granulometría

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Figura N° 3.1 como esquema gráfico de la granulometría:

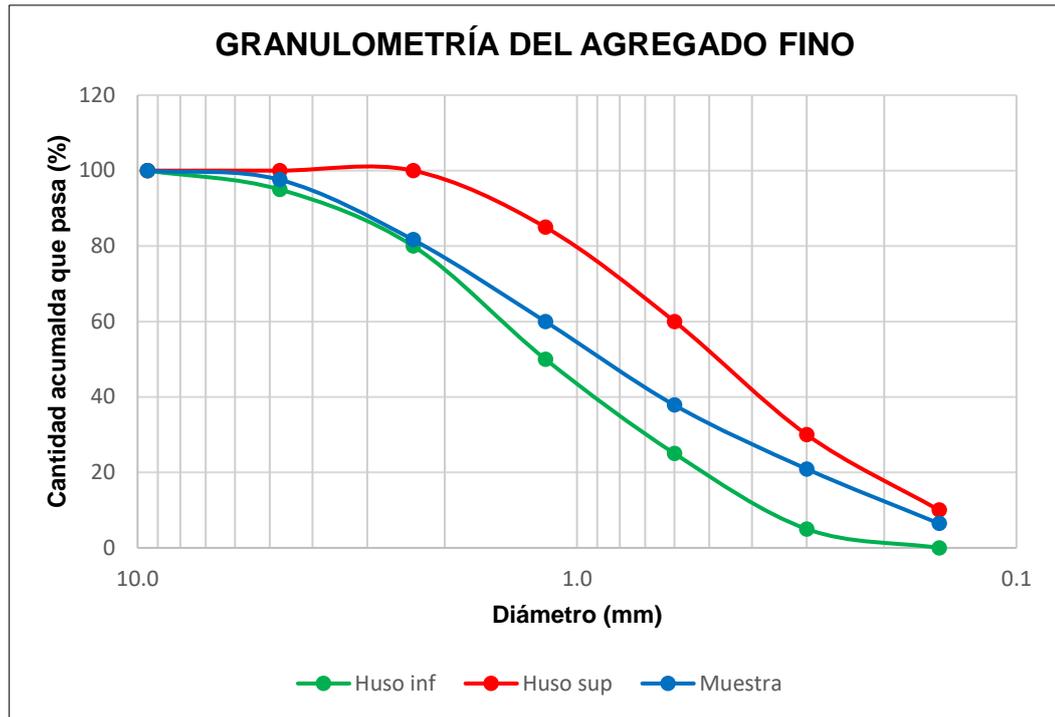


Figura N° 3.1 Granulometría del agregado fino para uso en concreto

Fuente: Elaboración Propia

3.1.5 Módulo de Finura (M.F)

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Tabla N° 3.4 como resumen:

Tabla N° 3.4 Resumen del módulo de finura del agregado fino.

MÓDULO DE FINURA	
M.F	2.96

Fuente: Elaboración Propia

El Módulo de Finura del agregado fino cumple con el rango de 2.3 a 3.1 establecido por la NTP 400.37.

3.1.6 Contenido de Humedad (C.H)

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Tabla N° 3.5 como resumen:

Tabla N° 3.5 Resumen de contenido de humedad del agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD	
C.H (%)	3.76

Fuente: Elaboración Propia

3.1.7 Cantidad que pasa por la malla N°200

Realizando los cálculos respectivos detallados en el Anexo 1, se muestra la Tabla N° 3.6 como resumen:

Tabla N° 3.6 Resumen de la cantidad de material que pasa por la malla N°200.

CANTIDAD QUE PASA POR LA MALLA N°200	
Cantidad que pasa la malla N°200 (%)	4.68

Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje máximo de material más fino que la malla N°200 es menor que 5% por lo que cumple con la NTP 400.037.

3.1.8 Resumen de las propiedades del agregado fino

Se muestra en la Tabla N° 3.7 el cuadro el resumen de las propiedades generales del agregado fino:

Tabla N° 3.7 Resumen de las propiedades del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	UNIDADES
Cantera	UNICON	
Peso Específico (P.E)	2.59	
Porcentaje de Absorción (%Abs)	1.67	%
Peso Unitario Suelto (P.U.S)	1548.19	kg/m ³
Peso Unitario Compactado (P.U.C)	1706.97	kg/m ³
Módulo de finura (M.F)	2.96	
Contenido de humedad (C.H)	3.76	%
Cantidad que pasa por la malla N°200	4.68	%

Fuente: Elaboración Propia

3.2 PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I

3.2.2 Cemento usado (Portland tipo I – Sol)

Para la presente investigación se utiliza el cemento Portland Tipo I de la marca Sol, el cual es producido por la Unión Andina de Cementos S.A.A. (Unacem). Este cemento se distribuye en bolsas de 42.5 kg, las bolsas están conformadas por 4 pliegos (3 de papel y 1 de plástico) lo que permite conservar sus propiedades. Las propiedades físicas y químicas del cemento Sol Portland tipo I cumplen con la NTP 334.009 y la Norma Técnica americana ASTM C-150.

Se muestra a continuación el cuadro de las propiedades físicas y químicas del Cemento Sol Portland tipo I y los requisitos según la NTP 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

Tabla N° 3.8 Propiedades físicas y químicas, y requisitos de la NTP 334.009 y ASTM C-150.

Parámetro	Unidad	Cemento Sol tipo I	Requisitos NTP 334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	cm ² /g	3361	Máximo 2600
Densidad	g/ml	3.12	No Especifica
Resistencia a la compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	427	No Especifica
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.08	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.25	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.68	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C2S	%	13.15	No Especifica
C3S	%	53.60	No Especifica
C3A	%	9.66	No Especifica
C4AF	%	9.34	No Especifica

Fuente: Ficha técnica del fabricante, Unacem S.A.A

3.3 PROPIEDADES DEL ADITIVO ESPUMANTE

3.3.1 Aditivo Lightcrete de Sika

Para la presente investigación se utilizó como aditivo espumante el aditivo Lightcrete, el cual es fabricado por la empresa Sika. Según la hoja de seguridad y la ficha técnica del fabricante (ver Anexo 1), este aditivo es un líquido que se genera por una mezcla acuosa de surfactantes sintéticos. El aditivo actúa como agente espumante concentrado para producir mezclas de concreto, mortero o relleno hidráulico liviano (densidad entre 800 y 1,800 kg/m³). Es recomendable

utilizar este aditivo en una dosis de 0.5 kg a 4 kg por metro cúbico de concreto ligero.

La Figura N° 3.2 corresponde a la hoja técnica del aditivo Lightcrete donde se muestra información general y aspectos técnicos de este aditivo.

DATOS BÁSICOS	
FORMA	ASPECTO Líquido COLOR Transparente, tonalidad amarilla PRESENTACIÓN Cilindro x 200 L
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL 1 año bajo techo en su envase original cerrado a temperaturas entre 5 °C y 30°C.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1,01 kg/L ± 0,01
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO Se recomienda utilizar dosis de 0.5 kg. a 4 kg por metro cúbico de mezcla. Adicionar el aditivo con la última parte del agua de la mezcla y agitar vigorosamente unos 10 minutos, asegurándose de obtener una mezcla vigorosa, puede emplearse menor tiempo de mezclado realizando ensayos previos y dependiendo del tipo de mezclador. Transporte y colocación. La mezcla que se obtiene generalmente es muy fluida, esto facilita el transporte, el bombeo, la colocación y el acabado del mismo.
MÉTODO DE APLICACIÓN	CONSIDERACIONES GENERALES La mezcla puede ser bombeada sin problemas mediante bombas convencionales. Para altos volúmenes de colocación, puede ser necesario prever un incremento de 100 a 200 kg/m ³ en su densidad. El contenido de espuma incorporada y el grado de cohesión en las mezclas depende de la temperatura ambiente, de la mezcla, los agregados, velocidad y tiempo de mezclado, cantidad de cemento, etc.

Figura N° 3.2 Información general y datos técnicos del aditivo Lightcrete.

Fuente: Ficha técnica del fabricante, Sika.

Según la hoja de seguridad (ver Anexo 1) este aditivo tiene como componentes químicos peligrosos al Ácido Sulfónico con concentración de 2.5% a 10% y las amidas con concentración de 1% a 2.5%. La identificación de riesgo de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) califica a este aditivo

como un material no inflamable, no reactivo y con riesgo de salud nivel 2 (peligroso).

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

3.4.1 Agua utilizada

Para la mezcla y curado del concreto en la presente investigación se utilizó agua potable. El agua potable es limpia y está libre de aceites, ácidos, sales, álcalis, materia orgánica y sulfatos.

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CAL

3.5.1 Cal hidráulica

Para la presente investigación se utiliza la cal hidráulica debido a que mejora las propiedades del concreto dándole mayor trabajabilidad, impermeabilidad, retentividad y adherencia.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA

4.1 DISEÑO ACI 523.3R

4.1.1 Cálculo del diseño de mezcla

Siguiendo las formulas de la guía ACI 523.3R las cuales se muestran en el Capítulo II, se procede a realizar el cálculo de las proporciones de cemento, agua y arena. Para los cálculos respectivos se establece los siguientes datos: $a/c = 0.5$ (para todos los diseños) y Densidad de concreto ligero de 1400 kg/m^3 .

- Cálculo de densidad del concreto fresco:

$$\gamma_f = \gamma_s + 122$$

$$\gamma_f = 1400 + 122$$

$$\gamma_f = 1522 \text{ kg/m}^3$$

- Cálculo de la relación ar/c :

$$\frac{ar}{c} = \frac{(\gamma_f - 673)}{345}$$

$$\frac{ar}{c} = \frac{(1522 - 673)}{345}$$

$$\frac{ar}{c} = 2.46$$

- Cálculo de la cantidad de cemento:

$$c = \frac{\gamma_f}{(1 + \frac{a}{c} + \frac{ar}{c})}$$

$$c = \frac{1522}{(1 + 0.5 + 2.46)}$$

$$c = 384.26 \text{ kg/m}^3$$

- Con este valor se determina las cantidades de los demás materiales:

$$\text{Cemento} = 384.26 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 192.13 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena} = 945.61 \text{ kg/m}^3$$

Para determinar la cantidad de aditivo espumante por m³ de concreto se elabora 3 diseños con cantidades de 0.5, 2.25 y 4 kg de aditivo por m³. Se muestra la Tabla N° 4.1 con las proporciones corregidas por agua para los 3 diseños.

Tabla N° 4.1 Diseños con cantidad de aditivo de 0.5, 2.25, 4 kg por m³ de concreto ligero.

MATERIAL	UNID	x 1M3		
		DISEÑO 1	DISEÑO 2	DISEÑO 3
Cemento	kg	384.26	384.26	384.26
Agua	lt	171.87	170.12	168.37
Arena	kg	965.37	965.37	965.37
Aditivo	kg	0.50	2.25	4.00

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza el ensayo de peso unitario fresco del concreto a los diseños mostrados en la Tabla N° 4.1, los resultados se muestran en la Tabla N° 4.2. Luego se elabora una gráfica de la cantidad de aditivo vs densidad del concreto fresco (ver Figura N° 4.1).

Tabla N° 4.2 Densidad del concreto fresco para diferentes cantidades de aditivo.

ADITIVO (kg)	Yf (kg/m ³)
0.50	1682.3
2.25	1140.8
4.00	1040.0

Fuente: Elaboración Propia

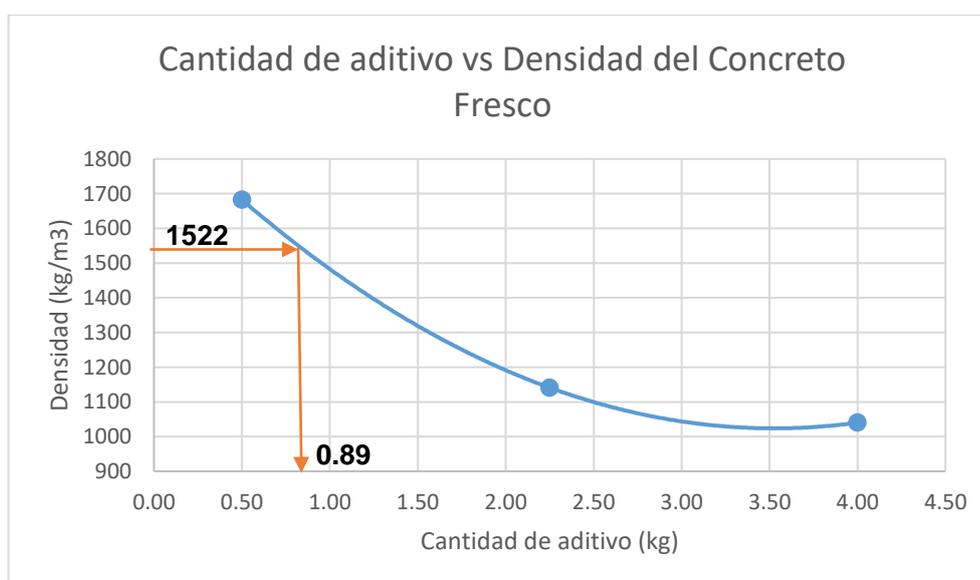


Figura N° 4.1 Densidad del concreto fresco para cada cantidad de aditivo.

Fuente: Elaboración Propia

De la Figura N°4.1 se determinará que 0.89 kg de aditivo espumante genera una densidad de 1522 kg/m³ en el concreto ligero.

Con la cantidad de aditivo determinada se obtiene el diseño final para un concreto ligero de $a/c=0.5$ y $D=1400$ kg/m³ el cual se observa en la Tabla N°4.3.

Tabla N° 4.3 Dosificación concreto ligero por m³ para $a/c=0.5$, sin cal y $D=1400$ kg/m³.

MATERIAL	UNID	x 1M3
Cemento	kg	384.26
Agua	lt	171.87
Arena	kg	965.37
Espuma	kg	0.89

Fuente: Elaboración Propia

Se aplica el mismo procedimiento de cálculo para los diseños de densidades de 1000 y 1200 kg/m³.

4.2 DOSIFICACIONES DE MEZCLA

Con ayuda de la guía ACI 523.3R se obtienen los diseños del concreto ligero para las densidades de 1000, 1200 y 1400 kg/m³. Teniendo como base estos diseños se determinan otros diseños debido a la sustitución de arena gruesa por Cal en porcentajes de 15, 25 y 35%.

4.2.1 Dosificaciones sin cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m³).

Se muestra en la Tabla N° 4.4, 4.5 y 4.6 las dosificaciones A1, A2 y A3 para 1 m³ de concreto ligero, 1 bolsa de cemento y una tanda de 0.015 m³.

Tabla N° 4.4 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, sin cal y $D=1400$ kg/m³.

DOSIFICACIÓN A1					
a/c=0.5 SIN CAL D=1400 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	Kg	384.26	42.50	5.76
	Agua	Lt	171.47	18.97	2.57
	Arena	Kg	965.37	106.77	14.48
	Espuma	Kg	0.89	0.10	0.013

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.5 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, sin cal y D=1200 kg/m³.

DOSIFICACIÓN A2					
a/c=0.5 SIN CAL D=1200 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	Kg	390.99	42.50	5.86
	Agua	Lt	176.99	19.24	2.65
	Arena	Kg	750.89	81.62	11.26
	Espuma	Kg	3.13	0.34	0.047

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.6 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, sin cal y D=1000 kg/m³.

DOSIFICACIÓN A3					
a/c=0.5 SIN CAL D=1000 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	Kg	400.51	42.50	6.01
	Agua	Lt	180.86	19.19	2.71
	Arena	Kg	532.13	56.47	7.98
	Espuma	Kg	8.50	0.90	0.128

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 Dosificaciones con 15% de cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m³).

Se muestra en la Tabla N° 4.7, 4.8 y 4.9 las dosificaciones B1, B2 y B3 para 1 m³ de concreto ligero, 1 bolsa de cemento y una tanda de 0.015 m³.

Tabla N° 4.7 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, 15% de cal y D=1400 kg/m³.

DOSIFICACIÓN B1					
a/c=0.5 15% CAL D=1400 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	kg	384.26	42.50	5.76
	Cal	kg	57.64	6.38	0.86
	Agua	lt	172.25	19.05	2.58
	Arena	kg	906.53	100.26	13.60
	Espuma	kg	1.32	0.15	0.020

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.8 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, 15% de cal y D=1200 kg/m³.

DOSIFICACIÓN B2					
	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
a/c=0.5 15% CAL D=1200 kg/m ³	Cemento	kg	390.99	42.50	5.86
	Cal	kg	58.65	6.38	0.88
	Agua	lt	177.18	19.26	2.66
	Arena	kg	691.01	75.11	10.37
	Espuma	kg	4.17	0.45	0.063

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.9 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, 15% de cal y D=1000 kg/m³.

DOSIFICACIÓN B3					
	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
a/c=0.5 15% CAL D=1000 kg/m ³	Cemento	kg	400.51	42.50	6.01
	Cal	kg	60.076	6.38	0.90
	Agua	lt	177.80	18.87	2.67
	Arena	kg	470.80	49.96	7.06
	Espuma	kg	12.82	1.36	0.192

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 Dosificaciones con 25% de cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m³).

Se muestra en la Tabla N° 4.10, 4.11 y 4.12 las dosificaciones C1, C2 y C3 para 1 m³ de concreto ligero, 1 bolsa de cemento y una tanda de 0.015 m³.

Tabla N° 4.10 Dosificación concreto ligero para a/c=0.5, 25% de cal y D=1400 kg/m³.

DOSIFICACIÓN C1					
	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m ³	Cemento	Kg	384.26	42.50	5.76
	Cal	Kg	96.06	10.63	1.44
	Agua	Lt	172.83	19.12	2.59
	Arena	Kg	867.30	95.93	13.01
	Espuma	Kg	1.54	0.17	0.023

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.11 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$.

DOSIFICACIÓN C2					
a/c=0.5 25% CAL D=1200 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	Kg	390.99	42.50	5.86
	Cal	Kg	97.75	10.63	1.47
	Agua	Lt	177.26	19.27	2.66
	Arena	Kg	651.10	70.77	9.77
	Espuma	Kg	4.91	0.53	0.074

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.12 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$.

DOSIFICACIÓN C3					
a/c=0.5 25% CAL D=1000 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	Kg	400.51	42.50	6.01
	Cal	Kg	100.13	10.63	1.50
	Agua	Lt	177.68	18.85	2.67
	Arena	Kg	429.91	45.62	6.45
	Espuma	Kg	13.77	1.46	0.207

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4 Dosificaciones con 35% de cal (densidad de 1400, 1200 y 1000 kg/m³).

Se muestra en la Tabla N° 4.13, 4.14 y 4.15 las dosificaciones D1, D2 y D3 para 1 m³ de concreto ligero, 1 bolsa de cemento y una tanda de 0.015 m³.

Tabla N° 4.13 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$.

DOSIFICACIÓN D1					
a/c=0.5 35% CAL D=1400 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	Kg	384.26	42.50	5.76
	Cal	kg	134.49	14.88	2.02
	Agua	lt	172.29	19.06	2.58
	Arena	kg	828.07	91.59	12.42
	Espuma	kg	2.89	0.32	0.043

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.14 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$.

DOSIFICACIÓN D2					
a/c=0.5 35% CAL D=1200 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	kg	390.99	42.50	5.86
	Cal	kg	136.85	14.88	2.05
	Agua	lt	177.12	19.25	2.66
	Arena	kg	611.18	66.43	9.17
	Espuma	kg	5.86	0.64	0.088

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.15 Dosificación concreto ligero para $a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$.

DOSIFICACIÓN D3					
a/c=0.5 35% CAL D=1000 kg/m ³	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 1 BOLSA	x 0.015 M3
	Cemento	kg	400.51	42.50	6.01
	Cal	kg	140.18	14.88	2.10
	Agua	lt	177.29	18.81	2.66
	Arena	kg	389.03	41.28	5.84
	Espuma	kg	15.00	1.59	0.225

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V: ELECCIÓN DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO

5.1 ELABORACIÓN DE CUBOS DE CONCRETO LIGERO

5.1.1 Generalidades

Para el concreto convencional según la NTP 339.183 los especímenes deben ser de forma cilíndrica para los ensayos de resistencia a la compresión. En la presente investigación se estudia el concreto celular, este concreto tiene una naturaleza heterogénea en su sección transversal, el uso de especímenes cilíndricos para determinar la resistencia a la compresión no proporciona valores realistas para el concreto celular. Phan (2005) demostró mediante ensayos de laboratorio que los especímenes cúbicos de 10 x 10 x 10 cm son muestras representativas del concreto ligero para determinar la resistencia a la compresión.

Tomando como referencia la investigación de Phan (2005) la presente investigación se elabora especímenes cúbicos de 10 x 10 x 10 cm para los ensayos de resistencia a la compresión.

5.1.2 Elaboración de moldes

Los moldes son cubos de 10 x 10 x 10 cm, para la fabricación de estos moldes se utilizaron planchas metálicas de 1/8" de espesor, se muestra en la Figura N° 5.1 los moldes metálicos y la aplicación de desmoldante.



Figura N° 5.1 Molde cubico metálico de 10 x 10 x 10 cm, aplicación del desmoldante.

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3 Proceso de mezclado

Para el procedimiento del mezclado del concreto ligero se siguió los siguientes pasos:

- i. Humedecer la mezcladora y echar la arena con una pequeña cantidad de agua, se realiza el mezclado por 30 segundos.
- ii. Echar a la mezcladora el cemento, la cal, el agua y el aditivo, este último se debe mezclar primero con una pequeña cantidad de agua según indica la ficha técnica del producto, se realiza el mezclado por 5 minutos (ver Figura N°5.2).
- iii. Se realiza el vaciado del concreto ligero en los moldes cúbicos, los cuales se desmoldan después de 24 horas y pasan a la poza de curado (ver Figura N° 5.3).



Figura N° 5.2 Proceso de mezclado del concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 5.3 Vaciado de concreto ligero en los moldes cúbicos de 10 x 10 x 10 cm.

Fuente: Elaboración Propia

5.1.4 Proceso de curado

Los cubos de concreto ligero pasan por una poza de curado la cual estarán por 7, 14 y 28 días para luego realizar el ensayo a la resistencia a la compresión (ver Figura N°5.4).



Figura N° 5.4 Poza de curado para los cubos de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE CONCRETO LIGERO

5.2.1 Resistencia a la compresión de dosificación A1, A2 y A3.

Se realiza el ensayo a la compresión de los cubos de concreto ligero correspondiente a las dosificaciones A1, A2 y A3. Los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días se observan en la Tabla N° 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

Tabla N° 5.1 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A1 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN A1			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 SIN CAL D=1400 kg/m ³	7	28.44	2.79
	14	39.09	3.44
	28	40.40	3.96

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.2 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A2 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN A2			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 SIN CAL D=1200 kg/m ³	7	11.99	1.18
	14	14.50	1.42
	28	16.12	1.58

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.3 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A3 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN A3			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 SIN CAL D=1000 kg/m ³	7	5.26	0.52
	14	6.73	0.66
	28	7.34	0.72

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.4 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones A1, A2 y A3.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Dosificación	f'c (Mpa)		
	7 días	14 días	28 Días
A1	2.79	3.44	3.96
A2	1.18	1.42	1.58
A3	0.52	0.66	0.72

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de los valores de resistencia promedio a los 7, 14 y 28 días correspondientes a los diseños A1, A2 y A3 se observan en la Figura N° 5.5, 5.6 y 5.7 respectivamente.

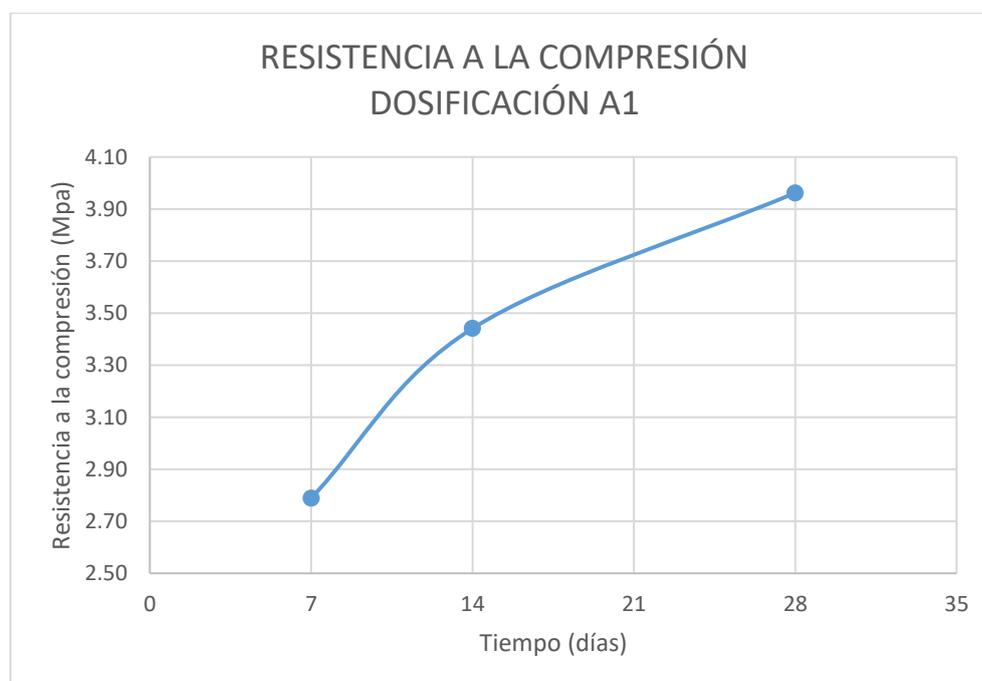


Figura N° 5.5 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A1 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

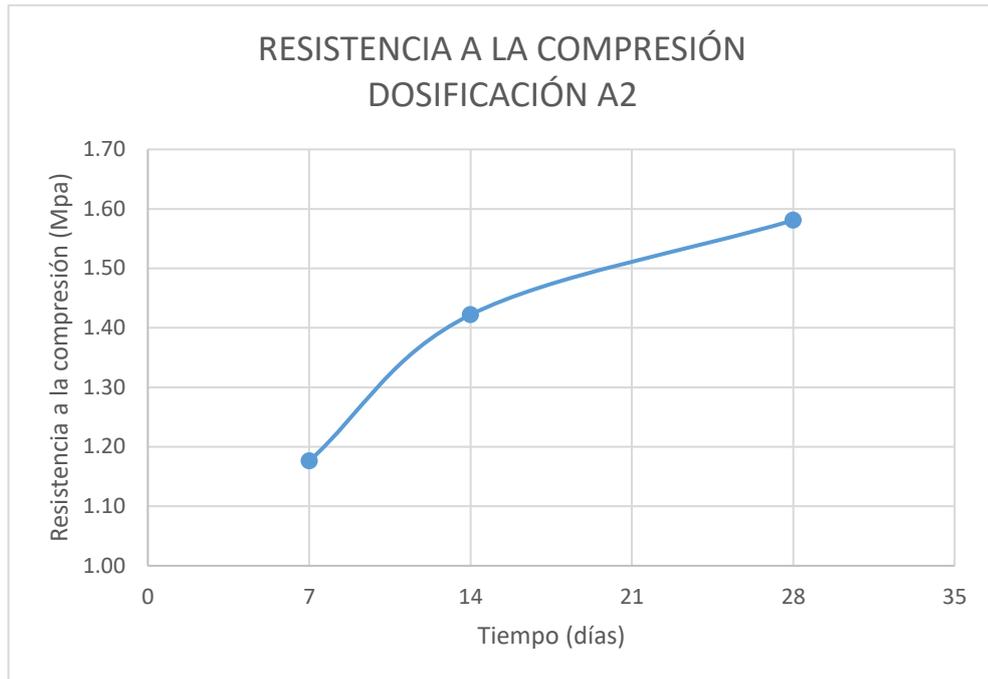


Figura N° 5.6 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A2 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

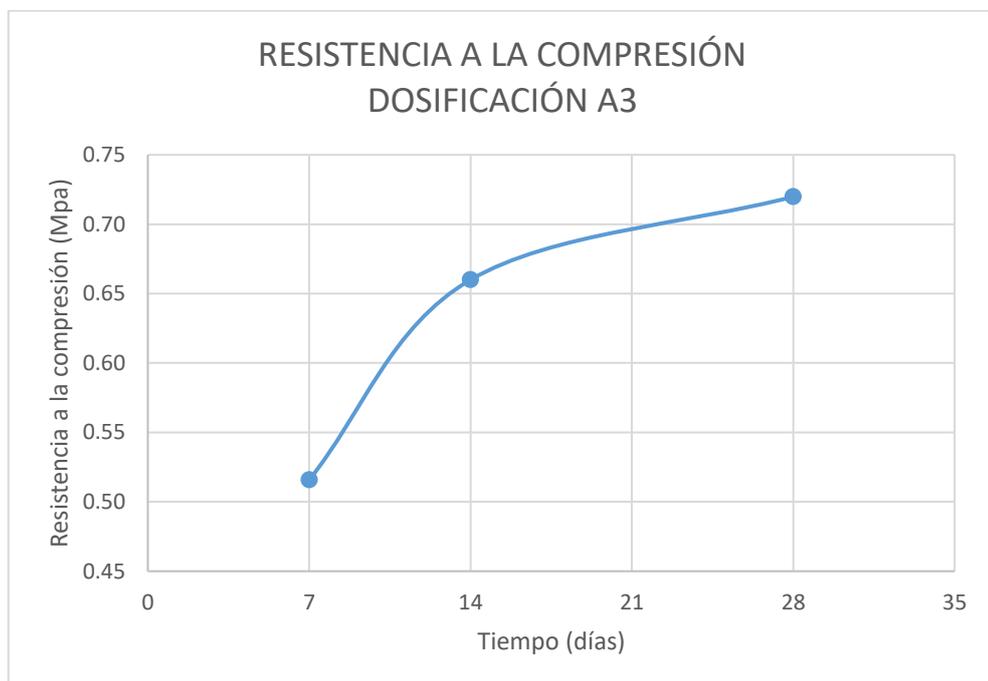


Figura N° 5.7 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A3 ($a/c=0.5$, sin cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 5.8 se muestra la comparación de los resultados de resistencia a la compresión de la dosificación A1, A2 y A3.

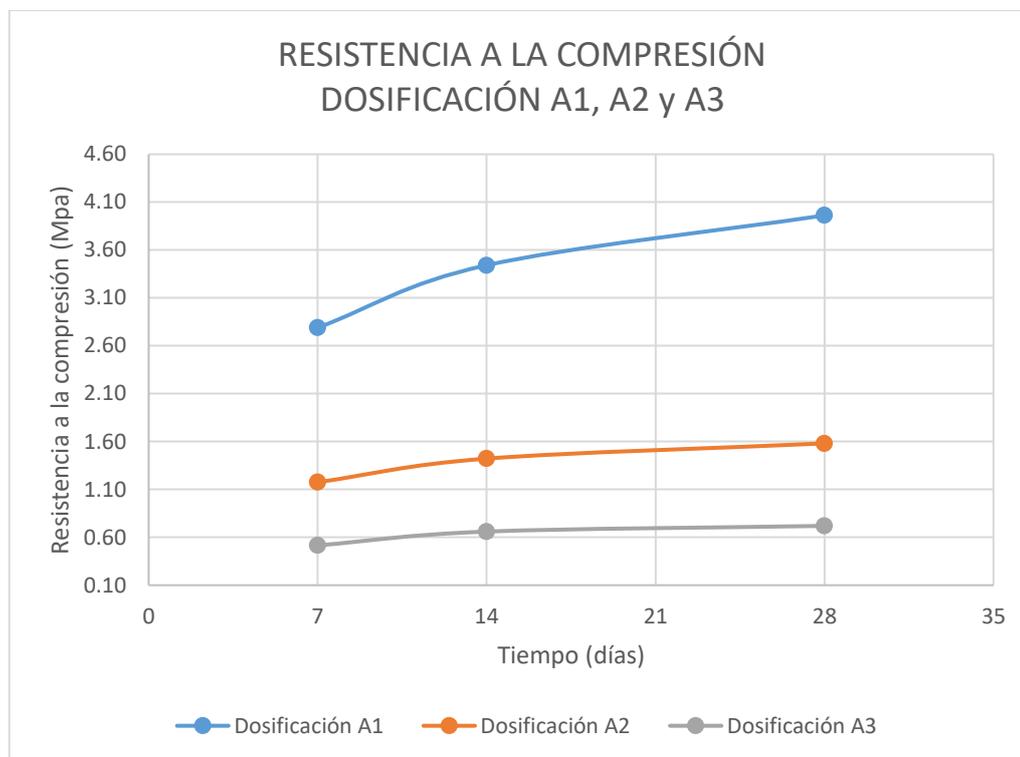


Figura N° 5.8 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación A1, A2 y A3.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 Resistencia a la compresión de dosificación B1, B2 y B3.

Se realiza el ensayo a la compresión de los cubos de concreto ligero correspondiente a las dosificaciones B1, B2 y B3. Los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días se observan en la Tabla N° 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8.

Tabla N° 5.5 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B1 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1400 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN B1			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 15% CAL D=1400 kg/m ³	7	30.31	2.97
	14	35.95	3.53
	28	42.18	4.14

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.6 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B2 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1200 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN B2			
a/c=0.5 15% CAL D=1200 kg/m ³	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
	7	19.16	1.88
	14	22.50	2.21
	28	26.01	2.55

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.7 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B3 (a/c=0.5, 15% de cal y D=1000 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN B3			
a/c=0.5 15% CAL D=1000 kg/m ³	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
	7	13.10	1.28
	14	16.82	1.65
	28	18.97	1.86

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.8 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones B1, B2 y B3.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Dosificación	f'c (Mpa)		
	7 días	14 días	28 Días
B1	2.97	3.53	4.14
B2	1.88	2.21	2.55
B3	1.28	1.65	1.86

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de los valores de resistencia promedio a los 7, 14 y 28 días correspondientes a los diseños B1, B2 y B3 se observan en la Figura N° 5.9, 5.10 y 5.11 respectivamente.

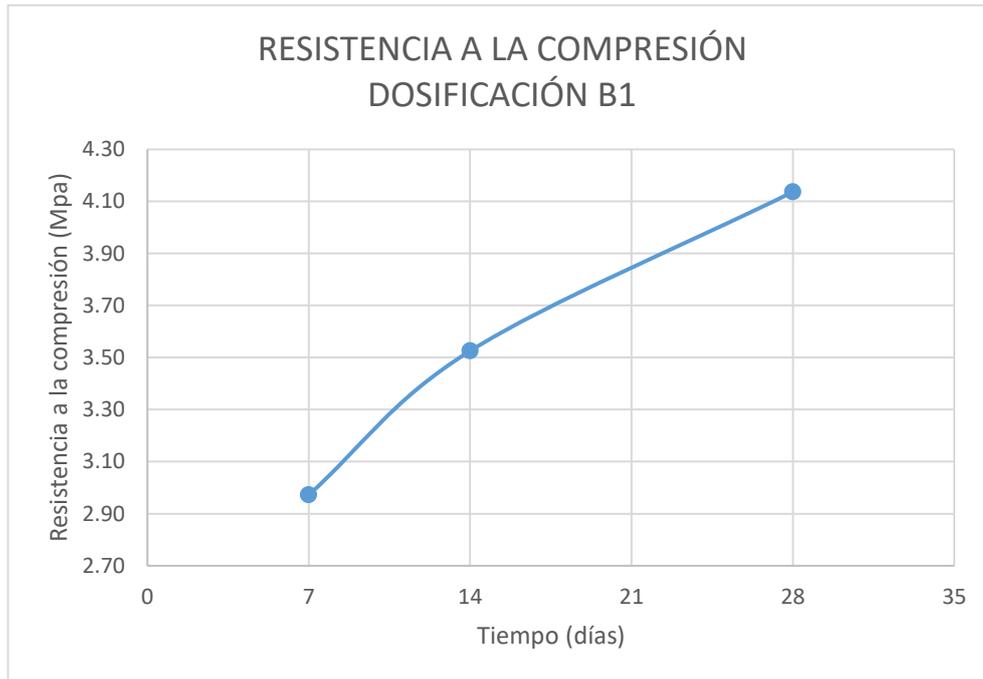


Figura N° 5.9 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B1 ($a/c=0.5$, 15% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

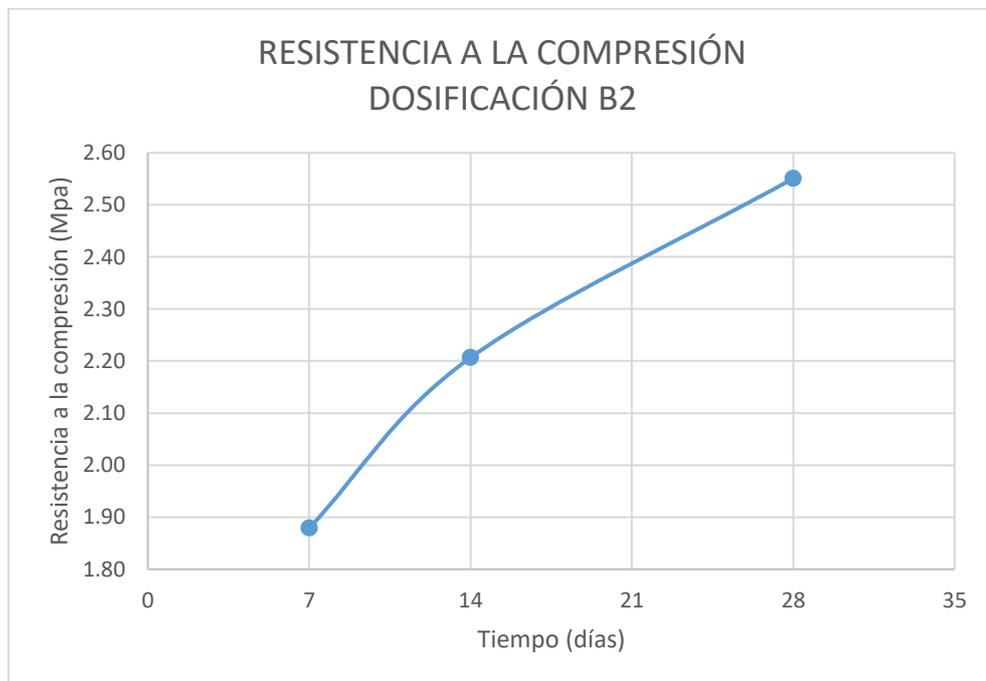


Figura N° 5.10 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B2 ($a/c=0.5$, 15% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

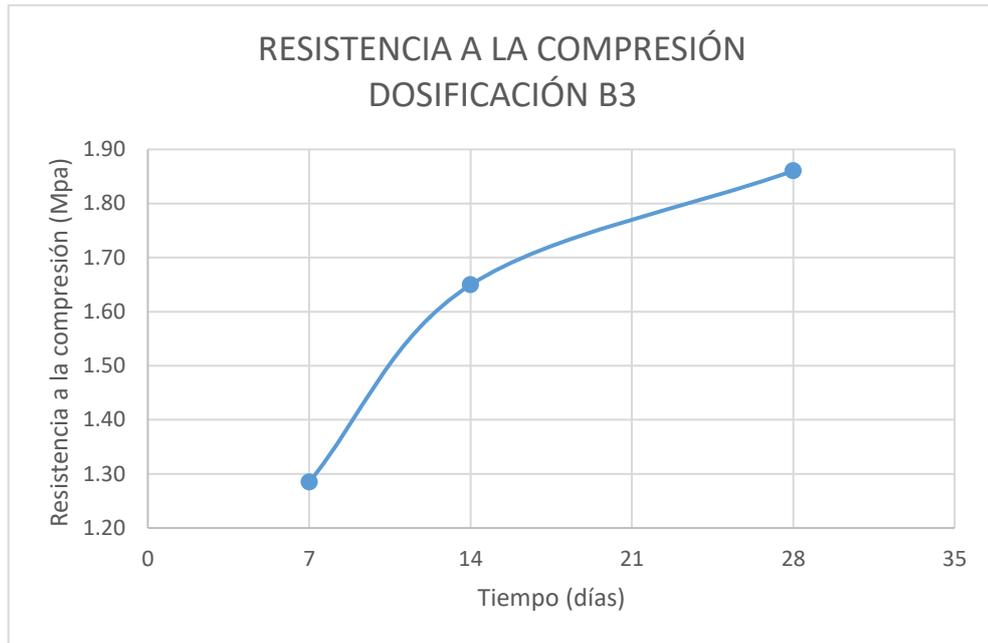


Figura N° 5.11 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B3 ($a/c=0.5$, 15% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$).
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 5.12 se muestra la comparación de los resultados de resistencia a la compresión de la dosificación B1, B2 y B3.

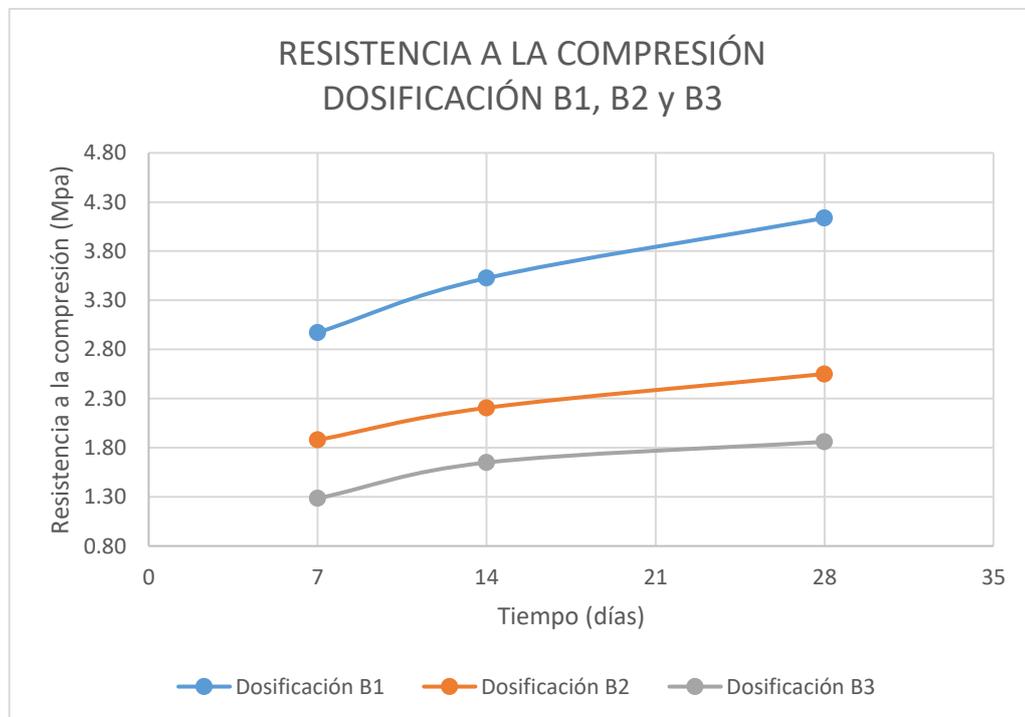


Figura N° 5.12 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación B1, B2 y B3.
Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 Resistencia a la compresión de dosificación C1, C2 y C3.

Se realiza el ensayo a la compresión de los cubos de concreto ligero correspondiente a las dosificaciones C1, C2 y C3. Los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días se observan en la Tabla N° 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12.

Tabla N° 5.9 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C1 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1400 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN C1			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m ³	7	32.09	3.15
	14	42.93	4.21
	28	47.77	4.68

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.10 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C2 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1200 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN C2			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 25% CAL D=1200 kg/m ³	7	20.78	2.04
	14	26.08	2.56
	28	29.78	2.92

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.11 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C3 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1000 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN C3			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 25% CAL D=1000 kg/m ³	7	16.94	1.66
	14	22.03	2.16
	28	24.97	2.45

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.12 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones C1, C2 y C3

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Dosificación	f'c (Mpa)		
	7 días	14 días	28 Días
C1	3.15	4.21	4.68
C2	2.04	2.56	2.92
C3	1.66	2.16	2.45

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de los valores de resistencia promedio a los 7, 14 y 28 días correspondientes a los diseños C1, C2 y C3 se observan en la Figura N° 5.13, 5.14 y 5.15 respectivamente.

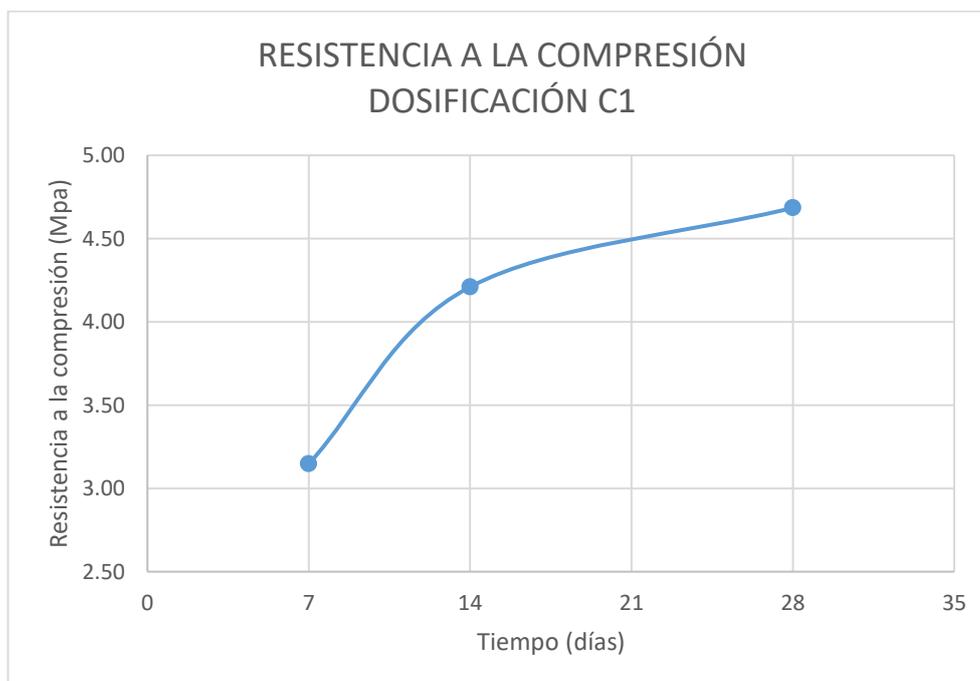


Figura N° 5.13 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C1 (a/c=0.5, 25% de cal y D=1400 kg/m³).

Fuente: Elaboración Propia

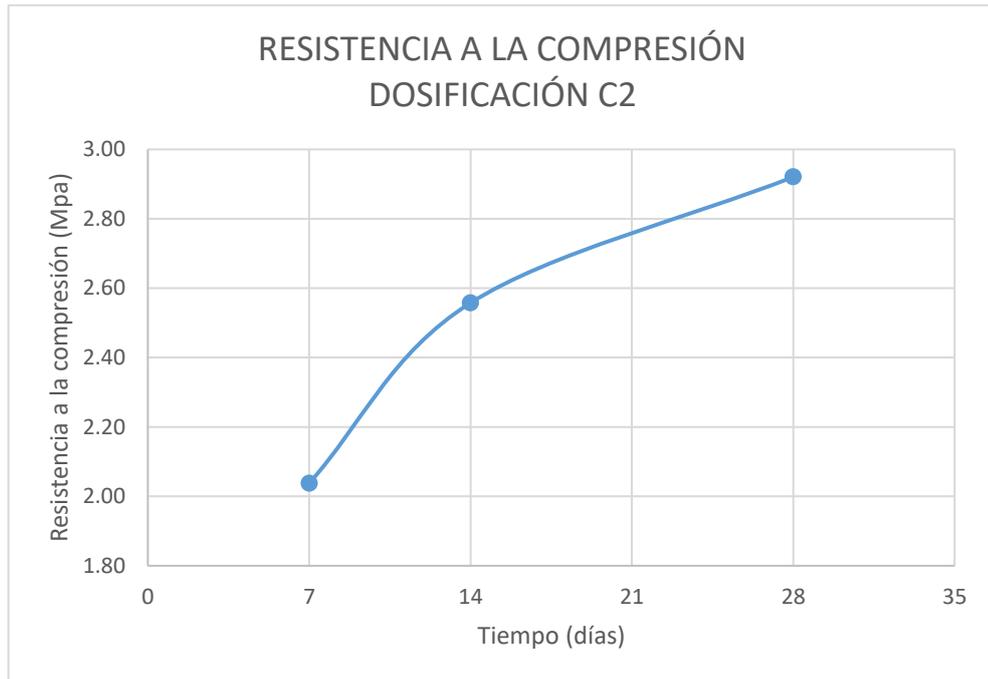


Figura N° 5.14 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C2 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1200 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

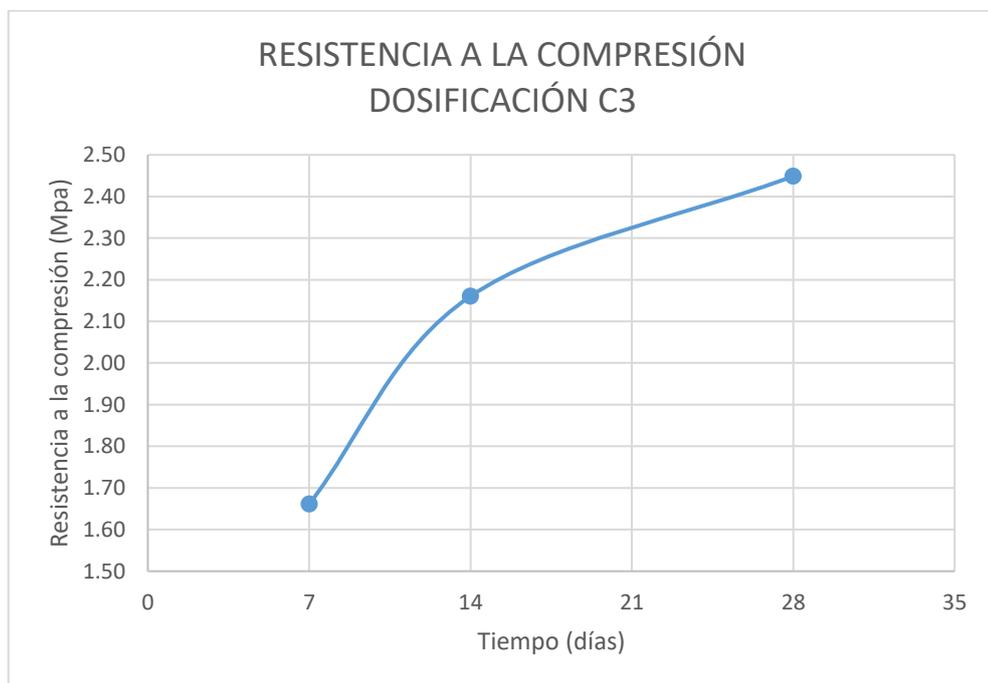


Figura N° 5.15 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C3 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1000 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 5.16 se muestra la comparación de los resultados de resistencia a la compresión de la dosificación C1, C2 y C3.

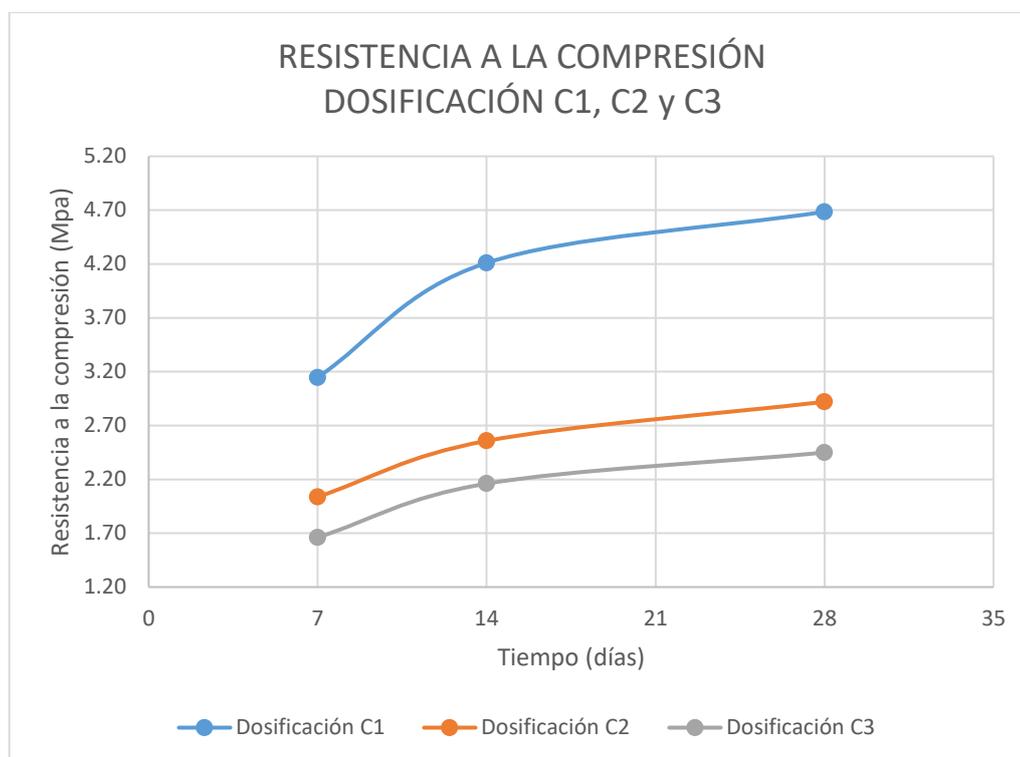


Figura N° 5.16 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación C1, C2 y C3.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4 Resistencia a la compresión de dosificación D1, D2 y D3.

Se realiza el ensayo a la compresión de los cubos de concreto ligero correspondiente a las dosificaciones D1, D2 y D3. Los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días se observan en la Tabla N° 5.13, 5.14, 5.15 y 5.16.

Tabla N° 5.13 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D1 ($a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN D1			
	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
a/c=0.5 35% CAL D=1400 kg/m ³	7	29.10	2.85
	14	36.96	3.62
	28	41.43	4.06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.14 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D2 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN D2			
a/c=0.5 35% CAL D=1200 kg/m ³	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
	7	15.82	1.55
	14	19.12	1.88
	28	22.46	2.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.15 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D3 (a/c=0.5, 35% de cal y D=1400 kg/m³).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN D3			
a/c=0.5 35% CAL D=1000 kg/m ³	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
	7	11.51	1.13
	14	14.88	1.46
	28	16.78	1.65

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.16 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones D1, D2 y D3.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Dosificación	f'c (Mpa)		
	7 días	14 días	28 Días
D1	2.85	3.62	4.06
D2	1.55	1.88	2.20
D3	1.13	1.46	1.65

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de los valores de resistencia promedio a los 7, 14 y 28 días correspondientes a los diseños D1, D2 y D3 se observan en la Figura N° 5.17, 5.18 y 5.19 respectivamente.

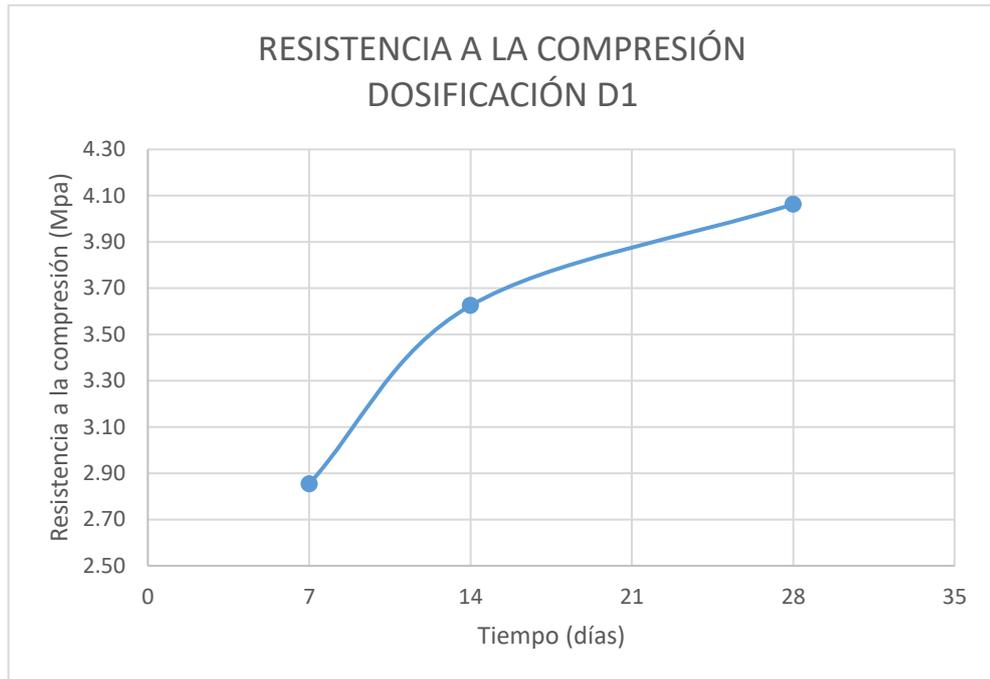


Figura N° 5.17 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D1 ($a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

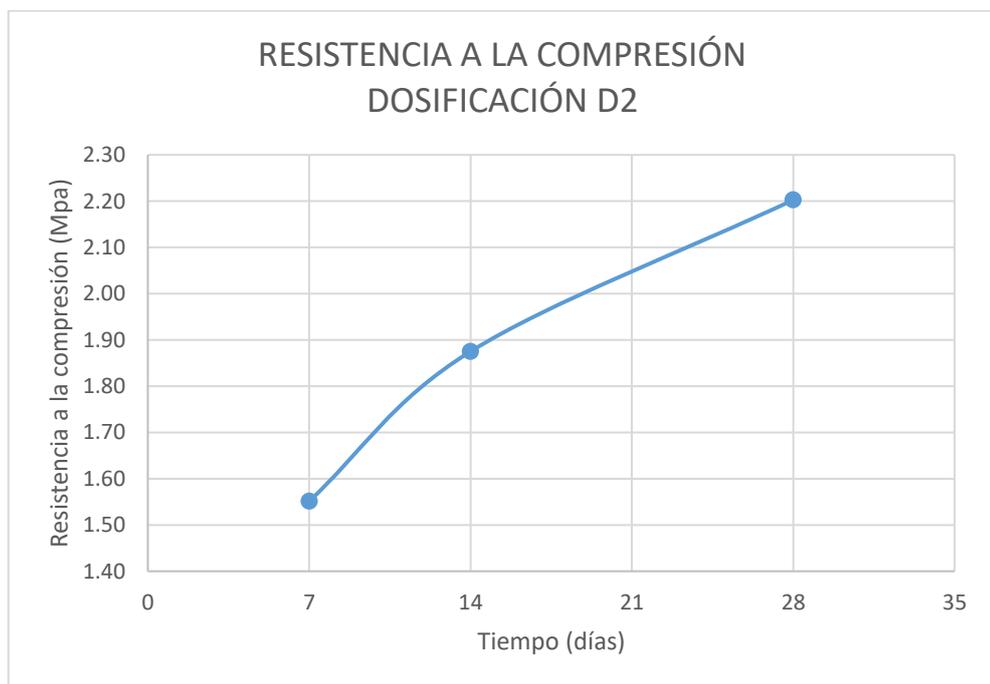


Figura N° 5.18 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D2 ($a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

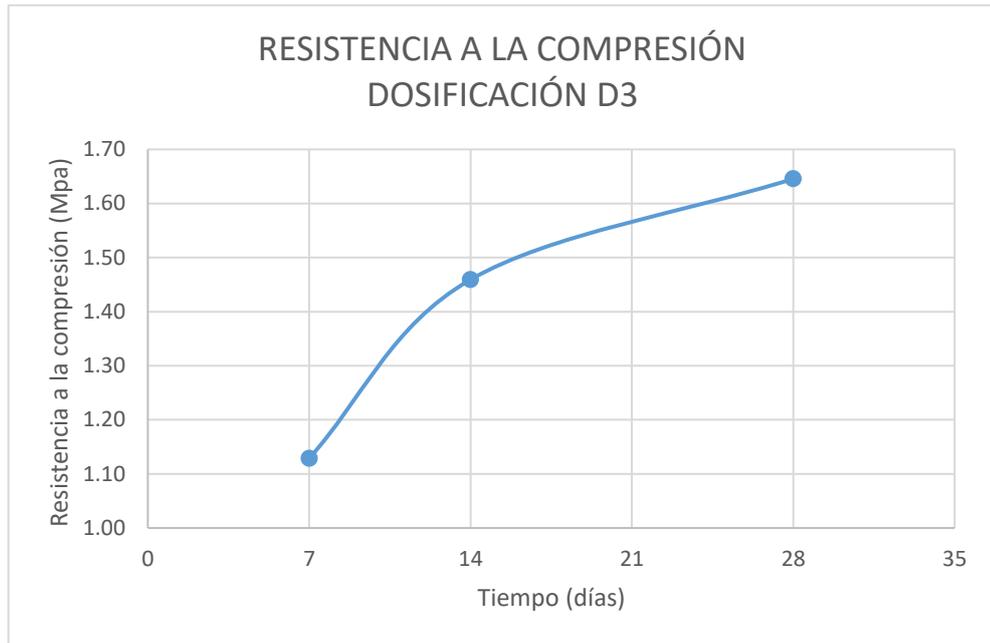


Figura N° 5.19 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D3 ($a/c=0.5$, 35% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 5.20 se muestra la comparación de los resultados de resistencia a la compresión de la dosificación D1, D2 y D3.

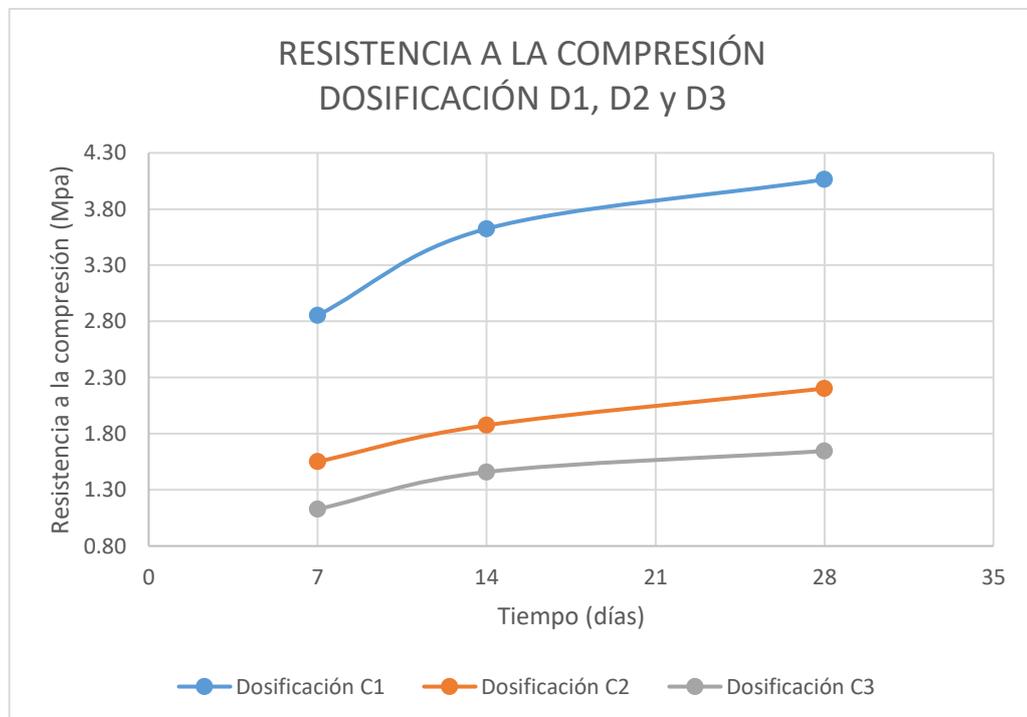


Figura N° 5.20 Comparación de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días para la dosificación D1, D2 y D3.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5 Elección de dosificación para elaboración de unidades de albañilería de concreto ligero.

La NTP 399.600 establece como requisito una resistencia mínima a la compresión de 4.15 Mpa para bloques de concreto de uso no estructural. La resistencia a la compresión a los 28 días de los bloques de concreto ligero de la dosificación C1 es de 4.68 Mpa, con este resultado la dosificación C1 es la única dosificación que cumple con la NTP 399.600.

Se muestra en la Tabla N° 5.17 la resistencia a la compresión a los 28 días de la dosificación C1.

Tabla N° 5.17 Resistencia a la compresión a los 28 días para la dosificación C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS DOSIFICACIÓN C1		
$a/c=0.5$ 25% CAL $D=1400 \text{ kg/m}^3$	Día	$f'c$ (Mpa)
	28	4.68

Fuente: Elaboración Propia

Con la dosificación **C1** se realiza el estudio de las propiedades del concreto fresco, se elaboran las unidades de albañilería y se realiza el estudio de las propiedades de estas unidades de albañilería.

5.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO PARA LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ELEGIDA

5.3.1 Trabajabilidad

De acuerdo con el ensayo de asentamiento del concreto de la NTP 339.035 se muestra en la Tabla N° 5.18 el valor del Slump para la dosificación C1.

Tabla N° 5.18 Asentamiento del concreto ligero de la dosificación tipo C1.

TRABAJABILIDAD	
Diseño	Slump (pulg)
C1	6.5

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Peso unitario

De acuerdo con el ensayo de peso unitario del concreto fresco de la NTP 339.046 se muestra en la Tabla N° 5.19 el valor del peso unitario para la dosificación C1.

Tabla N° 5.19 Peso unitario del concreto ligero de la dosificación tipo C1.

PESO UNITARIO	
Diseño	Peso Unitario (kg/m ³)
C1	1515

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 Consistencia

De acuerdo con el ensayo de consistencia del concreto de la NTP 339.085 se muestra en la Tabla N° 5.20 el valor de la fluidez para el diseño C1.

Tabla N° 5.20 Consistencia del concreto ligero de la dosificación tipo C1.

CONSISTENCIA	
Diseño	Fluidez (%)
C1	62

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4 Tiempo de Fragua

De acuerdo con el ensayo de tiempo de fragua del concreto de la NTP 339.082 se muestra en la Tabla N° 5.21 el valor del tiempo de fragua inicial y final para el diseño C1.

Tabla N° 5.21 Tiempo de fragua del concreto ligero de la dosificación tipo C1.

TIEMPO DE FRAGUA		
Diseño	Tiempo de Fragua Inicial (hh:mm)	Tiempo de Fragua Final (hh:mm)
C1	17:01	19:44

Fuente: Elaboración Propia

5.3.5 Exudación

De acuerdo con el ensayo exudación del concreto de la NTP 339.077 se muestra en la Tabla N° 5.22 el valor del tiempo de fragua inicial y final para el diseño C1.

Tabla N° 5.22 Exudación del concreto ligero de la dosificación tipo C1.

EXUDACIÓN	
Diseño	Exudación (%)
C1	1.19

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI: ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO LIGERO

6.1 GENERALIDADES

Lo fabricación de los bloques de concreto ligero de la presente investigación tiene como finalidad la reducción de la carga muerta en las obras de edificación. Se aplicará en tabiquerías o muros de tipo no estructural con propiedades de aislamiento térmico y acústico.

Los bloques elaborados en la presente investigación son bloques solidos (bloque sin hueco ni perforaciones). Los bloques son fáciles de manipular durante la elaboración de muros debido a su baja densidad, se puede realizar cortes a los bloques de forma manual con el serrucho.

Para el control de calidad de los bloques de concreto ligero se utiliza la Norma Técnica Peruana referida a Unidades de Albañilería NTP 399.600, NTP 400.006 y NTP 399.601.

6.2 MOLDES PARA LAS UNIDADES DE ALBAÑILERIA

6.2.1 Elección de la dimensión de la unidad de albañilería

Para la elección de las dimensiones del bloque de concreto de la presente investigación se tiene como referencia las dimensiones nominales indicadas en la NTP 400.006.

Las medidas nominales del largo, ancho y alto para los bloques de concreto (NTP 400.006) se muestran en la Tabla N° 6.1.

Tabla N° 6.1 Medidas nominales para bloques de concreto NTP 400.006.

MEDIDAS NOMINALES PARA BLOQUES DE CONCRETO - NTP 400.006		
Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
39	9	39
29		29
19	19	19

Fuente: Norma Técnica Peruana.

Teniendo en cuenta las dimensiones del cuadro anterior en la presente investigación se elabora bloques de concreto con las dimensiones mostradas en la Tabla N° 6.2.

Tabla N° 6.2 Medidas de las dimensiones del bloque de concreto de la presente investigación.

MEDIDAS DEL BLOQUES DE CONCRETO		
Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
39	9	19

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra en la Figura N°6.1 un esquema gráfico de las medias de largo, ancho y alto del bloque de concreto de la presente investigación.

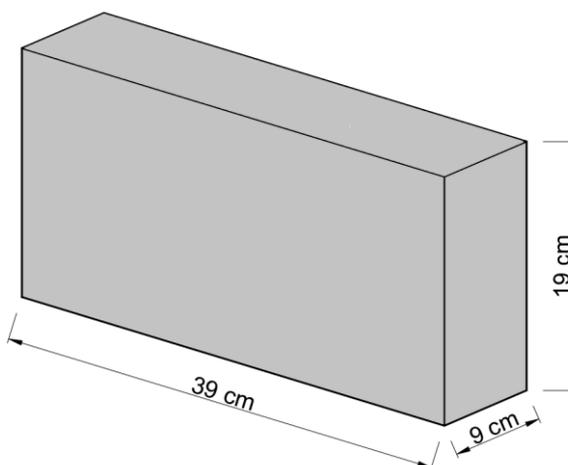


Figura N° 6.1 Medida de las dimensiones del bloque de concreto a fabricar.

Fuente: Elaboración Propia

6.2.2 Detalles técnicos de los moldes

- **Material:** Los moldes están hecho de madera Capirona, se escogió este tipo de madera por su alta densidad y mejor resistencia a la deformación lateral. Este tipo de madera tiene una textura fina, y esto hace que el bloque tenga un buen acabado.
- **Estructura del molde:** Los moldes están conformados por tablas de espesores de 1.5 cm, estas tablas están unidas mediante canaletas y ajustadas con pernos y tornillos, se elaboró 2 tipos de moldes que producen 3 y 4 bloques.

Los moldes son protegidos contra la humedad con una capa de petróleo en toda su superficie. En la Figura N° 6.2 se muestra la estructura del molde y la protección contra la humedad.



Figura N° 6.2 Estructura del molde formada por tablas de espesores de 1.5 cm, y aplicación de petróleo (desmoldante).

Fuente: Elaboración Propia

6.3 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

Para la elaboración de los bloques de concreto ligero se realizó los siguientes procedimientos:

i) Dosificación

- ✓ Las proporciones utilizadas en la presente investigación para la elaboración de bloques de concreto ligero son las indicas en la dosificación C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$). En la Tabla N° 6.3 se muestra la dosificación utilizada para una tanda de 85 litros (12 bloques).

Tabla N° 6.3 Dosificación C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$), tanda 0.085 m³.

DOSIFICACIÓN TANDA 0.085 M3 (12 BLOQUES)				
	MATERIAL	UNID	x 1M3	x 0.085 M3
$a/c=0.5$ 25% CAL $D=1400 \text{ kg/m}^3$	Cemento	kg	369.75	31.43
	Cal	kg	92.29	7.84
	Agua	lt	185.31	15.75
	Arena	kg	862.74	73.33
	Espuma	kg	1.54	0.131

Fuente: Elaboración Propia

ii) Mezclado de los materiales

- ✓ El proceso de mezclado se realiza en una mezcladora tipo trompo. Se humedece la mezcladora.
- ✓ Se echa toda la arena y una pequeña cantidad de agua y se mezcla durante 30 segundos.
- ✓ Se echa todo el cemento, la cal, el agua y el aditivo a la mezcladora (el aditivo debe estar diluido con una pequeña cantidad de agua de la dosificación), el tiempo de mezclado es de 5 minutos (ver Figura N° 6.3).



Figura N° 6.3 Mezclado de los materiales de la dosificación C1 para una tanda de 0.085 m³ de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

iii) Vaciado de la mezcla en los moldes

- ✓ Se aplica previamente líquido desmoldante a los moldes. Se llena los moldes con concreto ligero en 2 capas con 25 golpes por capa, los golpes se realizan con un mazo de goma para eliminar los vacíos y evitar cangrejeras. Se muestra en la Figura N° 6.4 el vaciado del concreto ligero en los moldes.



Figura N° 6.4 Vaciado del concreto ligero en los moldes.

Fuente: Elaboración Propia

iv) Proceso de Fraguado

- ✓ El ambiente donde se realiza el vaciado del concreto no debe estar expuesto al sol ni a los vientos, estos son factores que afectan el proceso de fraguado reduciendo el agua de la mezcla por evaporación, y como consecuencia afectan la resistencia a la compresión y provoca fisuras en el concreto.
- ✓ Los bloques se desmoldan después de 24 horas para luego ser colocados en las pozas de curado. Se muestra en la Figura N° 6.5 el proceso de fraguado de los bloques de concreto ligero.



Figura N° 6.5 Proceso de fraguado de los bloques de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

v) Proceso de curado

- ✓ Los bloques son colocados en las pozas de curado durante 28 días, las pozas contienen una mezcla de agua y cal (3g por litro de agua). Con el proceso de curado se mantiene la humedad y la temperatura en condiciones favorables para el concreto, con esto se garantiza la continuación del proceso de hidratación del cemento. Después del curado se obtiene un concreto de buena calidad y de buena resistencia. En la Figura N° 6.6 se muestra las pozas de curado para los bloques de concreto ligero.



Figura N° 6.6 Pozas de curado para los bloques de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

vi) Proceso de secado y almacenamiento

- ✓ Los bloques retirados de las pozas de curado pasan a la zona de almacenamiento donde secarán lentamente, los bloques deberán estar separados entre sí para garantizar el secado. Se muestra en la Figura N° 6.7 el proceso de secado y almacenamiento de los bloques de concreto ligero.



Figura N° 6.7 Proceso de secado y almacenamiento de los bloques de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VII: ESTUDIO DEL MORTERO PARA UNIDADES DE ALBAÑILERIA

7.1 GENERALIDADES

Para la unión de los bloques de concreto ligero la presente investigación utiliza el mortero el cual es el resultado de la unión de la arena, cemento y agua. El agregado utilizado es de la cantera UNICON. El espesor de mortero entre bloques de concreto es de 1 cm según lo indica la NTP 400.006.

Para la elección del diseño de mortero de albañilería se elabora cubos de morteros de 5 cm de lado, se realiza el ensayo de compresión y se elige el diseño con mejor resistencia y fluidez.

7.2 AGREGADO FINO

7.2.1 Propiedades del agregado fino

Se realiza los ensayos respectivos al agregado fino para determinar sus propiedades físicas. En la Figura N° 7.1 se muestra la granulometría del agregado fino para el uso en mortero de albañilería.

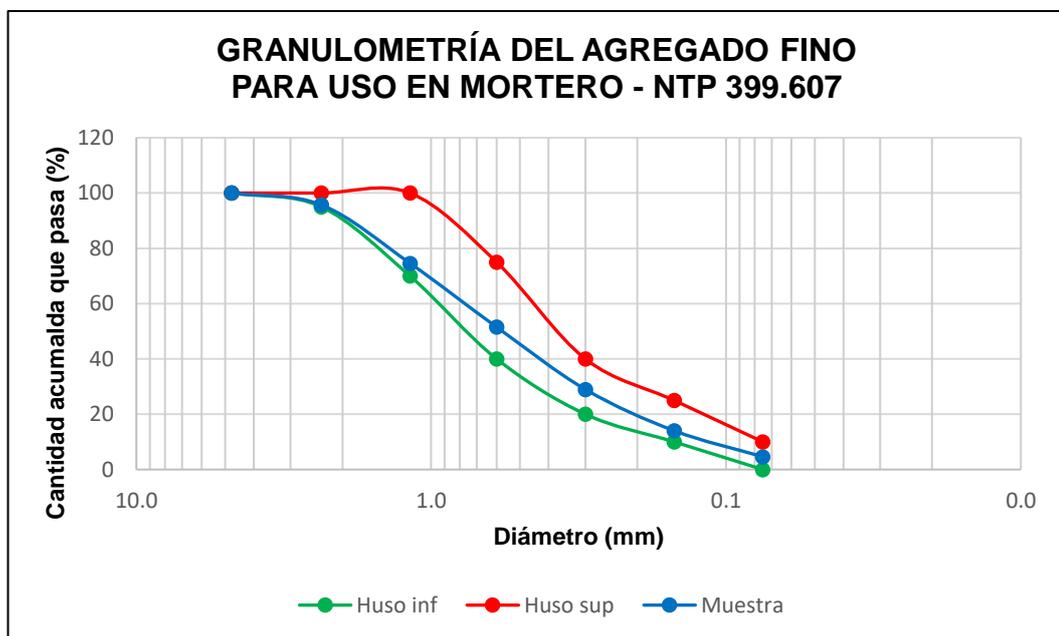


Figura N° 7.1 Granulometría del agregado fino para uso en mortero de albañilería – NTP 399.607

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 7.1 se muestra un cuadro de resumen de las propiedades del agregado fino para uso en mortero de albañilería.

Tabla N° 7.1 Resumen de las propiedades del agregado fino para mortero

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	UNIDADES
Cantera	UNICON	
Peso Específico (P.E)	2.61	
Porcentaje de Absorción (%Abs)	0.97	%
Módulo de finura (M.F)	2.35	
Contenido de humedad (C.H)	0.60	%

Fuente: Elaboración Propia

7.3 DISEÑOS DE MORTEROS PARA UNIDADES DE ALBAÑILERIA

7.3.1 Diseños de mortero

Los diseños se determinan para 3 diferentes relaciones cemento/arena 1/3, 1/4 y 1/5. El cálculo de la cantidad de agua se determina mediante el ensayo de fluidez del mortero, según la NTP 334.057 la fluidez debe estar en el rango de $110 \pm 5\%$. En la Tabla N° 7.2 se muestra la dosificación de cemento, arena y agua para el diseño M1, M2 y M3.

Tabla N° 7.2 Diseño C1, C2 y C3 para mortero de albañilería

MATERIAL	UNID	DISEÑO M1 1:3	DISEÑO M2 1:4	DISEÑO M3 1:5
Cemento	g	300	500	200
Arena	g	900	2000	1000
Agua	ml	200	406	202

Fuente: Elaboración Propia

7.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

7.4.1 Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días

Después del proceso de curado los cubos de mortero son ensayados a la edad de los 28 días, en la Tabla N° 7.3 se muestra los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión de los cubos de mortero.

Tabla N° 7.3 Resistencia a la compresión a los 28 días de cubos de mortero para diseño M1, M2 y M3.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS		
DISEÑO	CEMENTO /ARENA	ESF COMPRESIÓN (kg/cm ²)
DISEÑO M1	1:3	280.71
DISEÑO M2	1:4	223.82
DISEÑO M3	1:5	161.92

Fuente: Elaboración Propia

7.4.2 Elección de diseño para mortero de albañilería

De los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión de los cubos de morteros (ver Tabla N°7.3) se elige el diseño M1 debido a su buena resistencia de 280.71 kg/cm². El diseño M1 se utiliza en la presenta investigación para unir o pegar los bloques de concreto ligero.

CAPÍTULO VIII: ENSAYO A UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO LIGERO

8.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se muestra en la Tabla N° 8.1 la resistencia promedio a la compresión de los bloques de concreto ligero a edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla N° 8.1 Resistencia a la compresión a los 7, 14 Y 28 días del bloque de concreto ligero de diseño C1.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BLOQUE DE CONCRETO LIGERO			
DOSIFICACIÓN C1 a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m ³	Día	f'c (kg/cm ²)	f'c (Mpa)
	7	36.27	3.56
	14	46.29	4.54
	28	51.13	5.01

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra en la Figura N° 8.1 el comportamiento de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto ligero a edades de 7, 14 y 28 días.

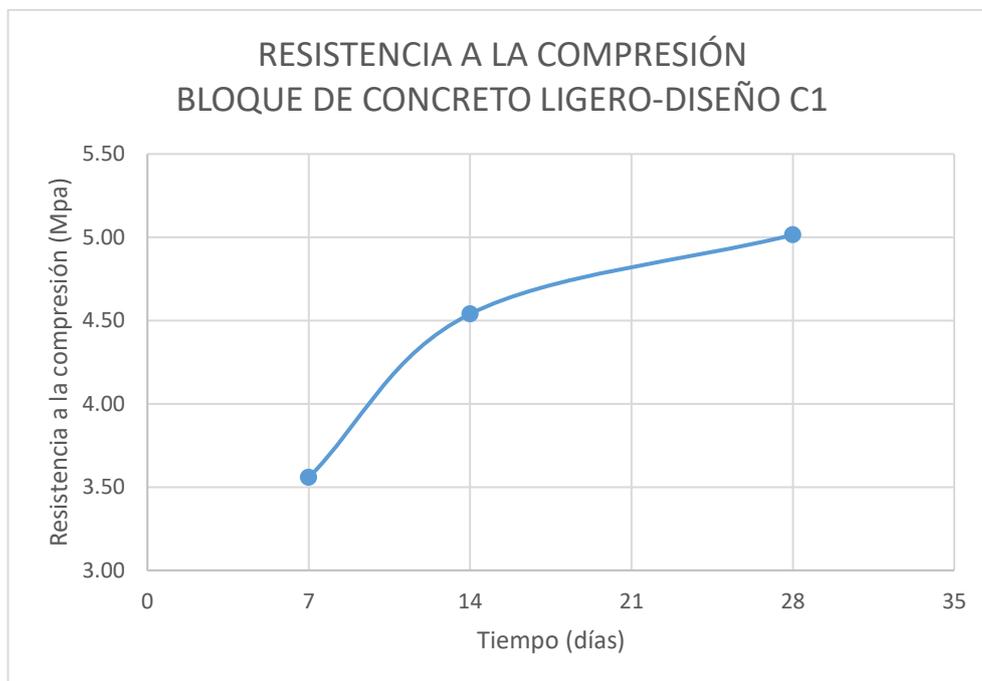


Figura N° 8.1 Comportamiento de la resistencia a la compresión a los 7, 14 Y 28 días del bloque de concreto ligero de diseño C1.

Fuente: Elaboración Propia

8.2 VARIACIONES PERMISIBLES EN LAS DIMENSIONES

Se muestra en la Tabla N° 8.2 las variaciones en las dimensiones de largo, ancho y altura para una muestra de 10 bloques de concreto ligero, las medidas estándar son de 39, 9 y 19 cm respectivamente.

Tabla N° 8.2 Variaciones en las dimensiones de los bloques de concreto ligero.

Espécimen	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Var. Largo (mm)	Var. Ancho (mm)	Var. Altura (mm)
Es1	389.0	90.3	190.4	1.0	-0.3	-0.4
Es2	389.0	90.4	190.5	1.0	-0.4	-0.5
Es3	389.0	90.5	190.0	1.0	-0.5	0.0
Es4	390.0	90.9	191.8	0.0	-0.9	-1.8
Es5	389.0	90.2	190.7	1.0	-0.2	-0.7
Es6	388.0	90.0	190.0	2.0	0.0	0.0
Es7	388.0	90.4	191.2	2.0	-0.4	-1.2
Es8	389.0	90.1	190.7	1.0	-0.1	-0.7
Es9	390.0	90.5	191.2	0.0	-0.5	-1.2
Es10	388.0	90.4	190.4	2.0	-0.4	-0.4

Fuente: Elaboración Propia

8.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Se muestra en la Tabla N° 8.3 el contenido de humedad promedio de los bloques de concreto ligero correspondiente al diseño C1.

Tabla N° 8.3 Contenido de Humedad del bloque de concreto ligero de diseño C1.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL BLOQUE DE CONCRETO LIGERO		
DOSIFICACIÓN C1 a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m3	UNID	CONTENIDO DE HUMEDAD
		%

Fuente: Elaboración Propia

8.4 ENSAYO DE ABSORCIÓN

Se muestra en la Tabla N°8.4 la absorción promedio de los bloques de concreto ligero correspondiente al diseño C1.

Tabla N° 8.4 Resistencia a la compresión a los 28 días de cubos de mortero para diseño M1, M2 y M3.

ABSORCIÓN DEL BLOQUE DE CONCRETO LIGERO		
DOSIFICACIÓN C1 a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m3	UNID	ABSORCIÓN
	kg/m3	256.46

Fuente: Elaboración Propia

8.5 ENSAYO DE DENSIDAD (PESO UNITARIO)

Se muestra en la Tabla N° 8.5 la densidad promedio de los bloques de concreto ligero correspondiente al diseño C1.

Tabla N° 8.5 Densidad del bloque de concreto ligero de diseño C1.

DENSIDAD DEL BLOQUE DE CONCRETO LIGERO		
DOSIFICACIÓN C1 a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m3	UNID	DENSIDAD
	kg/m3	1390

Fuente: Elaboración Propia

8.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS

Se muestra en la Tabla N° 8.7 la resistencia a la compresión de pilas de albañilería correspondiente al diseño C1.

Tabla N° 8.6 Resistencia a la compresión de pilas de albañilería del diseño C1.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PILAS DE ALBAÑILERIA		
DOSIFICACIÓN C1 a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m3	f'c (kg/cm2)	f'c (Mpa)
	56.80	5.57

Fuente: Elaboración Propia

8.7 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES

Se muestra en la Tabla N° 8.8 la resistencia a la compresión diagonal de muros de albañilería correspondiente al diseño C1.

Tabla N° 8.7 Resistencia a la compresión diagonal de muros de albañilería del diseño C1.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL MUROS DE ALBAÑILERIA		
DOSIFICACIÓN C1 a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m3	UNID.	f'c
	kg/cm2	6.25

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE COSTO

9.1 GENERALIDADES

Una de las partidas muy importantes de un proyecto de edificación debido a su volumen de trabajo y costo es la tabiquería. En la presente investigación se realiza el análisis de costo de la elaboración de muro hecho con bloque de concreto ligero y ladrillo King Kong 18 huecos.

Para el cálculo del costo total de elaboración de muro se considera los costos parciales de los siguientes trabajos:

- Costo de fabricación de bloque de concreto ligero.
- Costo de construcción de muro con bloque de concreto ligero.
- Costo de construcción de muro con ladrillo King Kong 18 huecos.
- Costo de tarrajeo de muro.
- Costo de pintura en muro.

Para el análisis de costo se considera precios unitarios de materiales, equipos y mano de obra correspondiente al mes de marzo del 2020, los precios unitarios se muestran en el Anexo 1.

9.2 ANÁLISIS DE COSTO

9.2.1 Análisis de costo para fabricación de bloque de concreto ligero

En la Tabla N° 9.1 se muestra el análisis de precio unitario por unidad de bloque de concreto ligero.

Tabla N° 9.1 Análisis de precio unitario por unidad de bloque de concreto ligero.

COSTO DE FABRICACIÓN DEL BLOQUE DE CONCRETO LIGERO					
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PARCIAL (S/)	TOTAL (S/)
MATERIALES					2.13
Cemento	bls	0.058	22.20	1.29	
Cal	bls	0.018	19.90	0.35	
Agua	m3	0.001	6.88	0.01	
Arena gruesa	m3	0.002	50.00	0.11	
Aditivo	lt	0.010	10.00	0.10	
Madera Capirona	ft2	0.058	4.5	0.26	

COSTO DE FABRICACIÓN DEL BLOQUE DE CONCRETO LIGERO					
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PARCIAL (S/)	TOTAL (S/)
Tornillo	unid	0.133	0.08	0.01	
MANO DE OBRA					0.89
Operario	hh	0.016	23.00	0.37	
Peón	hh	0.032	16.44	0.53	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS					0.30
Herramientas 3% MO	%MO	0.030	0.89	0.03	
Mezcladora de concreto 13 hp tambor de 11 pie3	hm	0.008	34.2	0.27	
				COSTO TOTAL	3.32

Fuente: Elaboración Propia

9.2.2 Análisis de costo para construcción de muro con bloque de concreto ligero

En la Tabla N° 9.2 se muestra el análisis de precio unitario para construcción de muro hecho con bloque de concreto ligero por m².

Tabla N° 9.2 Análisis de precio unitario para construcción de muro hecho con bloque de concreto ligero por m².

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE MURO CON BLOQUE DE CONCRETO LIGERO					
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PORCIAL (S/)	TOTAL (S/)
MATERIALES					48.90
Bloque	unid	13.125	3.32	43.58	
Cemento	bls	0.079	22.20	1.75	
Arena	m3	0.004	50.00	0.19	
Agua	m3	0.002	6.88	0.02	
Clavos para madera con cabeza de 3"	kg	0.022	4.9	0.11	
Madera tornillo	ft2	0.580	5.6	3.25	
MANO DE OBRA					18.12
Capataz	hh	0.053	27.6	1.47	

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE MURO CON BLOQUE DE CONCRETO LIGERO					
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PORCIAL (S/)	TOTAL (S/)
Operario	hh	0.533	23	12.27	
Peón	hh	0.267	16.44	4.38	
EQUIPO Y ERRAMIENTAS					0.54
Herramientas 3% MO	%MO	0.030	18.12	0.54	
				COSTO TOTAL	67.57

Fuente: Elaboración Propia

9.2.3 Análisis de costo para construcción de muro con ladrillo King Kong 18 huecos

En la Tabla N° 9.3 se muestra el análisis de precio unitario para construcción de muro hecho con ladrillo King Kong 18 huecos por m².

Tabla N° 9.3 Análisis de precio unitario para construcción de muro hecho con ladrillo King Kong 18 huecos por m².

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE MURO CON LADRILLO KING KONG 18 HUECOS					
DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PORCIAL (S/)	TOTAL
MATERIALES					37.10
Ladrillo	unid	40.82	0.65	26.53	
Cemento	bls	0.291	22.20	6.45	
Arena	m3	0.014	50.00	0.71	
agua	m3	0.008	6.88	0.06	
Clavos para madera con cabeza de 3"	kg	0.022	4.9	0.11	
Madera tornillo	ft2	0.580	5.6	3.25	
MANO DE OBRA					27.18
Capataz	hh	0.080	27.6	2.21	
Operario	hh	0.800	23	18.40	
Peón	hh	0.400	16.44	6.58	

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE MURO CON LADRILLO KING KONG 18 HUECOS					
DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PORCIAL (S/)	TOTAL
EQUIPO, ERRAMIENTAS					0.82
Herramientas 3% MO	%MO	0.030	27.184	0.82	
				COSTO TOTAL	65.10

Fuente: Elaboración Propia

9.2.4 Análisis de costo de tarrajeo de muro

En la Tabla N° 9.4 se muestra el análisis de precio unitario para el tarrajeo de muro por m².

Tabla N° 9.4 Análisis de precio unitario para tarrajeo de muro por m².

COSTO DE TARRAJEO DE MURO: C/Ar = 1/5 , e =1.5 cm					
DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PORCIAL (S/)	TOTAL (S/)
MATERIALES					6.77
Cemento	bls	0.111	22.20	2.46	
Arena fina	m3	0.016	50.00	0.79	
Agua	m3	0.004	6.88	0.03	
Clavos para madera con cabeza de 3"	kg	0.022	4.9	0.11	
Madera tornillo	p2	0.580	5.6	3.25	
Regla de aluminio 3m x 0.1m	unid	0.003	44.9	0.13	
MANO DE OBRA					18.12
Capataz	hh	0.053	27.6	1.47	
Operario	hh	0.533	23	12.27	
Peón	hh	0.267	16.44	4.38	
EQUIPO, ERRAMIENTAS					0.54
herramientas 3% MO	%MO	0.030	18.12	0.54	
				COSTO TOTAL	25.44

Fuente: Elaboración Propia

9.2.5 Análisis de costo de pintura en muro

En la Tabla N° 9.5 se muestra el análisis de precio unitario para el pintado de muro por m².

Tabla N° 9.5 Análisis de precio unitario para pintura en muro por m².

COSTO DE PINTURA EN MUROS					
DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	PRECIO (S/)	PORCIAL (S/)	TOTAL (S/)
MATERIALES					5.95
Imprimante	kg	2.000	0.84	1.68	
Sellador	gal	0.025	17.90	0.45	
Pintura tipo látex	gal	0.050	75.00	3.75	
Lija de madera	hoja	0.040	1.70	0.07	
MANO DE OBRA					13.50
Capataz	hh	0.032	27.6	0.88	
Operario	hh	0.320	23	7.36	
Peón	hh	0.320	16.44	5.26	
EQUIPO, ERRAMIENTAS					0.41
Herramientas 3% MO	%MO	0.030	13.50	0.41	
				COSTO TOTAL	19.85

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO X: ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1 CUBOS DE COCRETO LIGERO

10.1.1 Resistencia a la compresión

Para la elección de la dosificación se compara los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días con la resistencia mínima de 4.15 Mpa que indica la NTP 399.600. Los valores de resistencia que se obtiene son muy pequeños debido a la densidad del concreto y a la presencia de burbujas de aire que se encuentra distribuida en toda su estructura. La dosificación C1 con una resistencia de 4.68 Mpa es la única dosificación que supera la resistencia mínima, el cual es elegido para la elaboración de los bloques de concreto. Se muestra en la Figura N° 10.1 los resultados del ensayo a la compresión de cubos de 10 x 10 x 10 cm de concreto ligero para todas las dosificaciones (edad 28 días) y la resistencia mínima que indica la NTP 399.600.

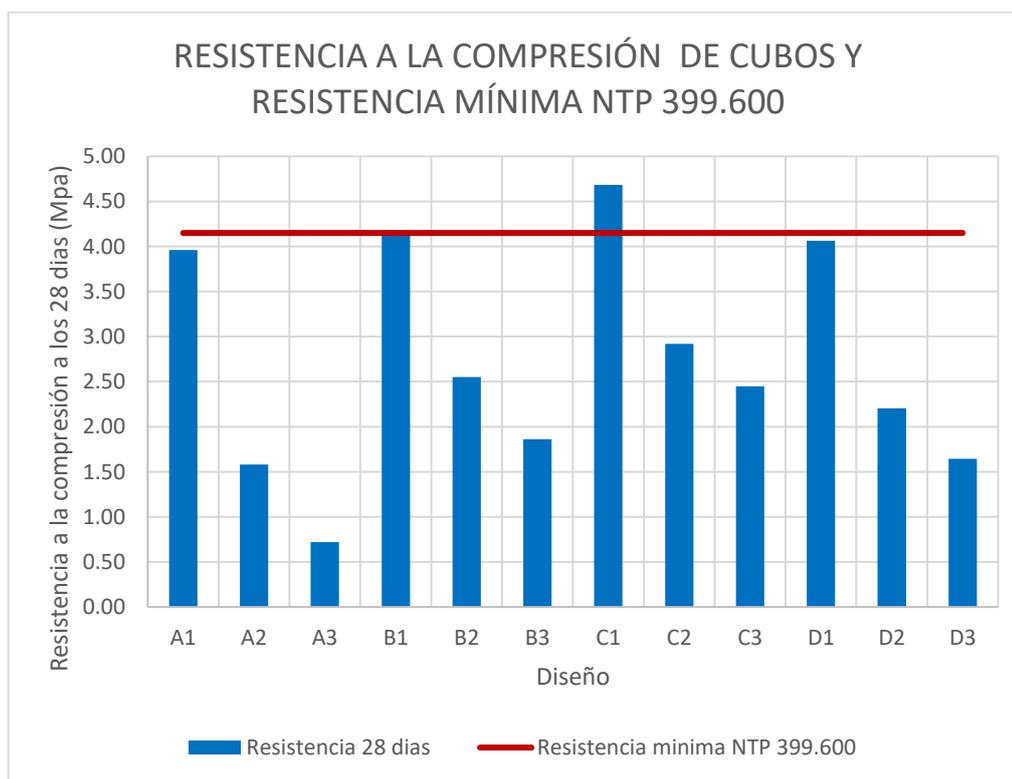


Figura N° 10.1 Resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero a los 28 días y resistencia mínima NTP 399.600.

Fuente: Elaboración Propia

10.2 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO LIGERO

10.2.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del bloque de concreto ligero tiene un valor promedio de 5.01 Mpa el cual supera la resistencia mínima de 4.15 Mpa que indica la NTP 399.600, con este resultado el bloque de concreto ligero de la presente investigación tiene como aplicación en muros no estructurales (tabiquería). Las burbujas de aire debilitan la estructura del concreto, motivo principal de la baja resistencia.

En la Figura N° 10.2 se muestra la resistencia a la compresión del bloque de concreto ligero y la resistencia mínima a la compresión (NTP 399.600).

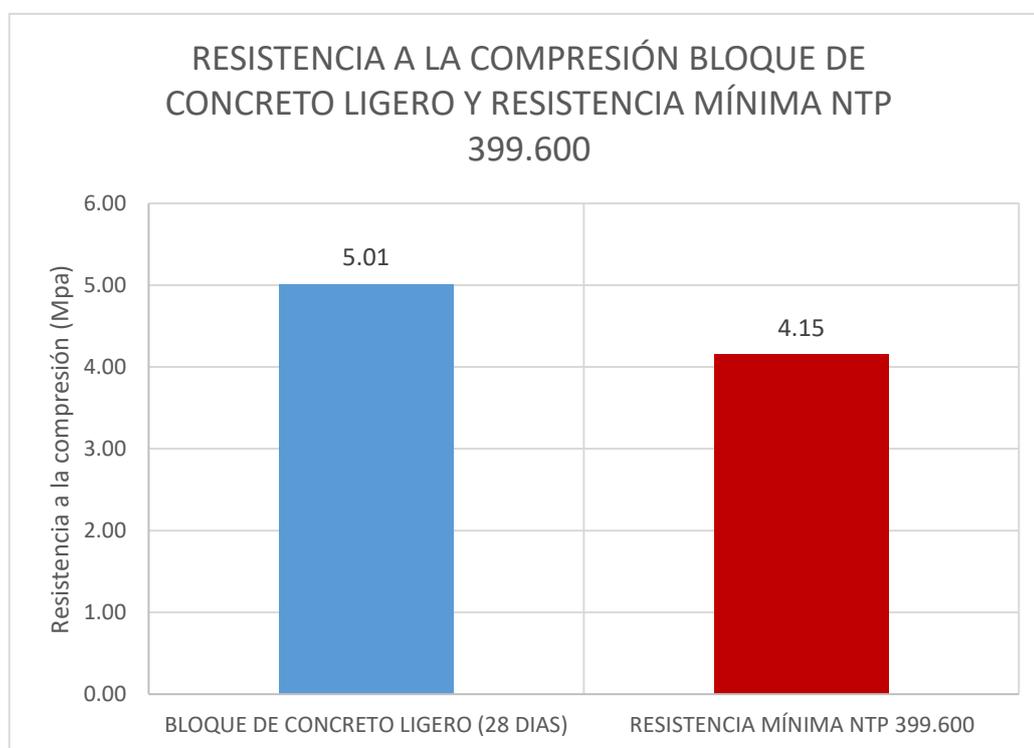


Figura N° 10.2 Resistencia a la compresión del bloque de concreto ligero y la resistencia mínima a la compresión (NTP 399.600).

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto ligero (ver Anexo 1) donde se obtuvo un valor promedio de 4.10 Mpa. En la Figura N° 10.3 se muestra la comparación de los valores de resistencia a la compresión de los cubos, probetas y bloques de concreto ligero.

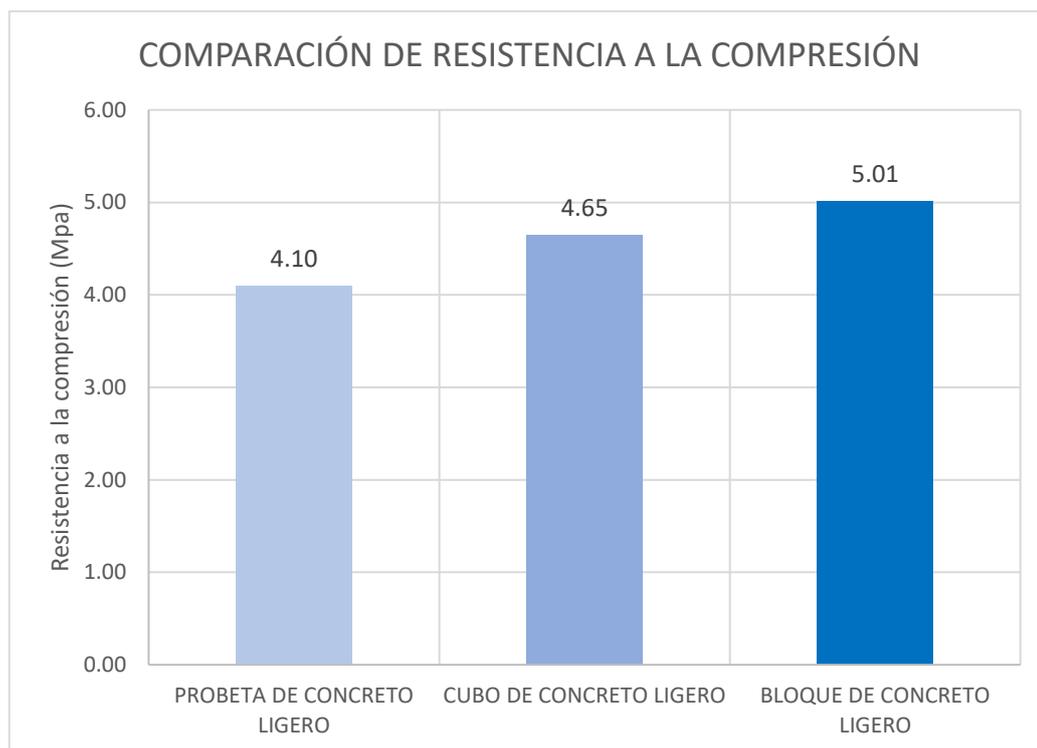


Figura N° 10.3 Comparación de los valores de resistencia a la compresión de los cubos, probetas y bloques de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

10.2.2 Variaciones permisibles en las dimensiones

La Tabla N°8.2 muestra las variaciones de las dimensiones de largo, ancho y altura de 10 bloques de concreto ligero, estas variaciones cumplen con el rango $\pm 3\text{mm}$ indicados en la norma NTP 399.600.

En la Tabla N° 10.1 se muestra la variación promedio de las dimensiones para 10 muestras de bloque de concreto ligero.

Tabla N° 10.1 Variación promedio de las dimensiones de 10 bloques de concreto ligero.

Var. Largo promedio (mm)	Var. Ancho promedio (mm)	Var. Altura promedio (mm)
1.1	-0.4	-0.7

Fuente: Elaboración Propia

10.2.3 Absorción

La absorción del bloque de concreto ligero tiene un valor promedio de 256.46 kg/m^3 el cual es inferior al valor máximo de 288 kg/m^3 que indica la NTP 399.600. El alto valor de la absorción se debe principal a la gran cantidad de espacios

vacíos que tiene el concreto ligero en su estructura, estos espacios vacíos hacen que el concreto retenga una mayor cantidad de agua.

En la Figura N° 10.4 se muestra la absorción del bloque de concreto ligero y la absorción máxima (NTP 399.602).

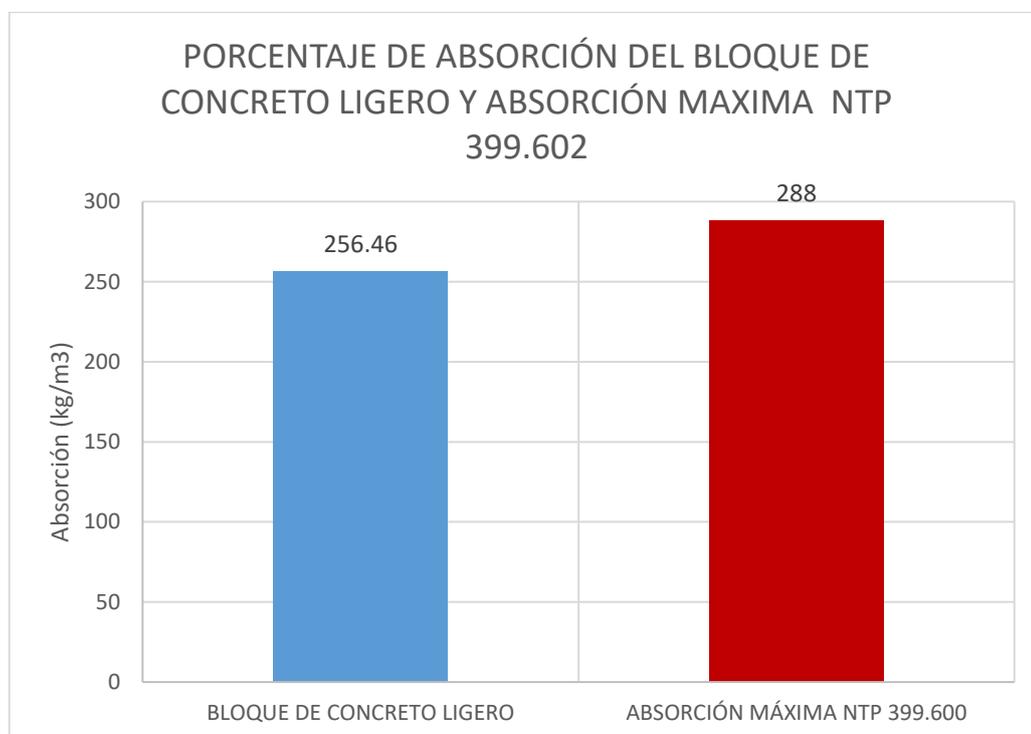


Figura N° 10.4 Verificación de cumplimiento de la absorción máxima (NTP 399.602) del bloque de concreto ligero.

Fuente: Elaboración Propia

10.2.4 Densidad (peso unitario)

La densidad del bloque del concreto ligero tiene un valor promedio de 1390 kg/m^3 el cual es menor al valor de densidad de 2400 kg/m^3 de un concreto convencional, el bloque de concreto ligero es 42% más ligero que el concreto convencional, esto es debido a la gran cantidad de burbujas de aire incorporada durante su fabricación. La baja densidad del bloque hace que este material sea buen aislante térmico y acústico.

En la Figura N° 10.5 se muestra la comparación entre la densidad del bloque de concreto ligero y el concreto convencional.

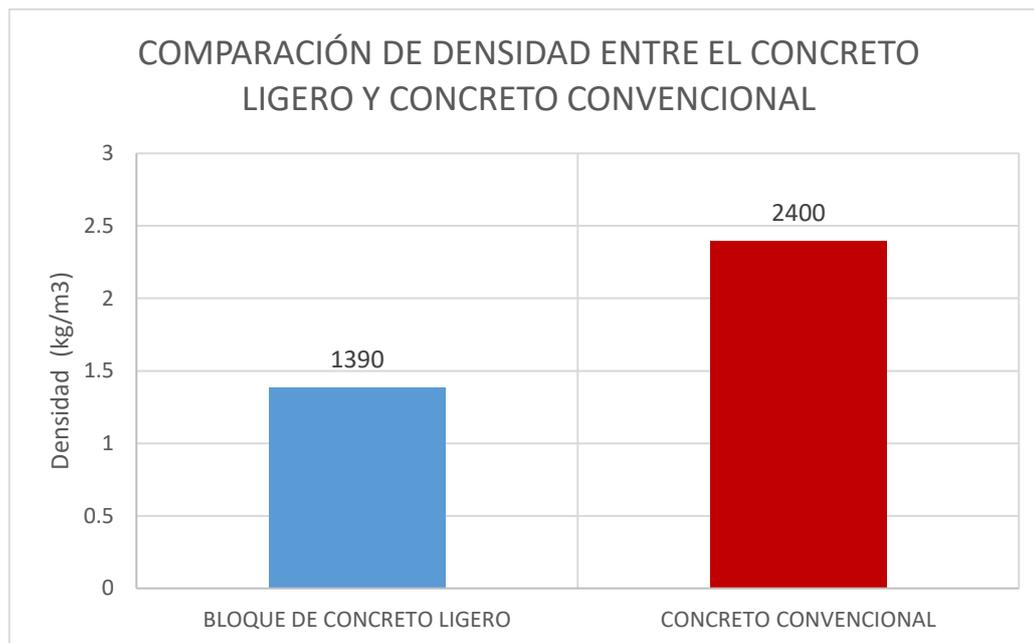


Figura N° 10.5 Comparación de densidad entre bloque de concreto ligero y el concreto convencional.

Fuente: Elaboración Propia

10.2.5 Conductividad térmica

Para el análisis de resultado de la conductividad térmica se toma como referencia el resultado de la tesis de Yuri Ninaquispe Manchego, esta investigación realiza el ensayo de la conductividad térmica para un bloque de concreto celular de densidad 1550 kg/m^3 , el ensayo se realizó en el Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias de la UNI. La conductividad térmica del bloque de concreto celular de la tesis de Yuri Ninaquispe Manchego tiene un valor de $0.39 \text{ W/m}^2\text{K}$, este valor es bajo en comparación a otros materiales utilizados en la construcción, esto se debe principalmente a la presencia de una gran cantidad de poros en su estructura. La conductividad térmica total de este material poroso es la resultante de la conductividad térmica de la estructura del silicato y la del aire contenido en los poros.

En la Tabla N° 10.2 se muestra los valores de conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.

Tabla N° 10.2 Valores de conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m°K)	AUTOR
Concreto Normal	2400	1.63	Norma Chilena, Nch. 853, Of.93, 2007
Bloque hueco (15cm)	1700	1.20	Norma Mexicana, NOM-008-ENER-2001
Ladrillo	1800	0.79	Norma Chilena, Nch. 853, Of.93, 2007
Adobe	1600	0.37	Joshua M. Piñas Moya, 2018
Bloque de concreto celular	1550	0.39	Yury Ninaquispe Manchego, 2007

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 10.6 se muestra la comparación de la conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.

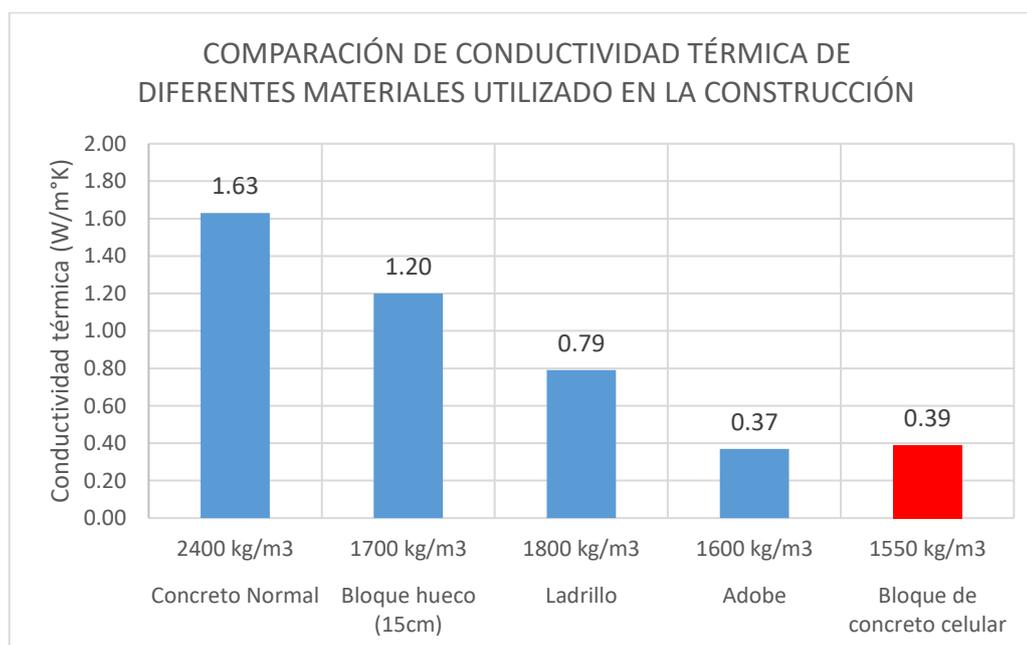


Figura N° 10.6 Comparación de conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.

Fuente: Elaboración Propia

10.2.6 Resistencia a la compresión de pilas

La resistencia a la compresión de pilas de concreto ligero tiene un valor promedio de 5.57 Mpa el cual es menor al valor de 10.08 Mpa de la tesis de Yuri Ninaquispe

Manchego “Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural”, en esta tesis se estudia el bloque de concreto celular generado por la adición de polvo de aluminio en la mezcla. La diferencia de valores de resistencia se debe principalmente a que el bloque de la presente investigación tiene menor densidad a comparación del bloque de la investigación de referencia.

En la Figura N° 10.7 se muestra la comparación de valores de resistencia a la compresión de pilas para la presente investigación y la tesis de Yury Ninaquispe Manchego.

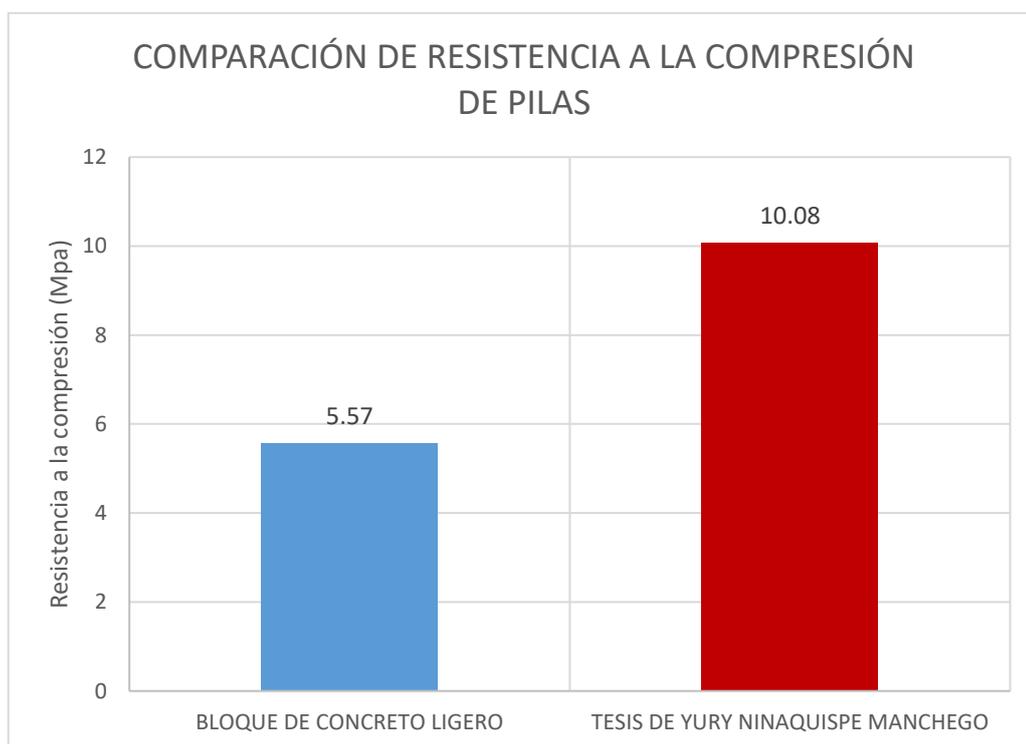


Figura N° 10.7 Comparación de la resistencia a la compresión de pilas.

Fuente: Elaboración Propia

10.2.7 Resistencia a la compresión diagonal de muretes

La resistencia a la compresión diagonal de muretes de concreto ligero tiene un valor promedio de 6.25 kg/cm² el cual es mayor al valor de 3.63 kg/cm² de la tesis de Yuri Ninaquispe Manchego “Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural”. El motivo de la superioridad del valor de la resistencia se debe principalmente a que el mortero de la presente investigación tiene mejor adherencia que el mortero de la tesis de referencia.

En la Figura N° 10.8 se muestra la comparación de valores de resistencia a la compresión diagonal de muretes para la presente investigación y la tesis de Yury Ninaquispe Manchego.

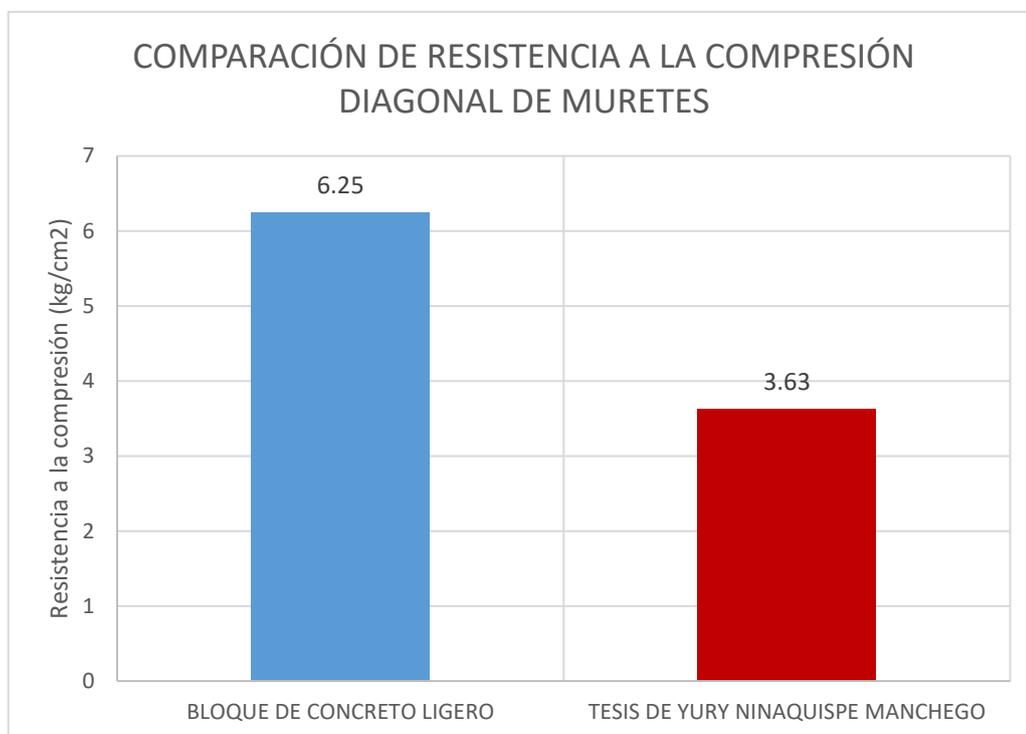


Figura N° 10.8 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal de muretes.

Fuente: Elaboración Propia

10.3 PESO DE MURO ACABADO POR M²

Se realiza el cálculo del peso de muro acabado hecho con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero, los cuales se tiene como resultado 224.67 y 130.48 kg respectivamente, este resultado muestra que el muro de bloque de concreto ligero es 42% más ligero que el muro de ladrillo King Kong, este porcentaje de ligereza se debe principalmente a que los muros hechos con bloque de concreto ligero requieren menos volumen de mortero y que no necesitan tarrajeo.

En la Tabla N° 10.3 se muestra el peso de muro acabado por m² para muros hechos con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero.

Tabla N° 10.3 Peso de muro acabado por m² para muros hechos con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero.

PESO DE MURO ACABADO POR M2					
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PESO (kg)	PARCIAL (kg)	TOTAL (kg)
MURO DE LADRILLO KING KONG 18 HUECOS					224.67
Ladrillo	Unid.	38.87	2.7	104.96	
Mortero	m3	0.024	2200	53.72	
Tarrajeo	m3	0.030	2200	66.00	
MURO DE BLOQUE DE CONCRETO LIGERO					130.48
Bloque	Unid.	12.5	9.27	115.88	
Mortero	m3	0.007	2200	14.60	
Tarrajeo	m3	-	-	-	

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 10.9 se muestra la comparación de los pesos de los materiales utilizados en los muros hechos con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero, por m².

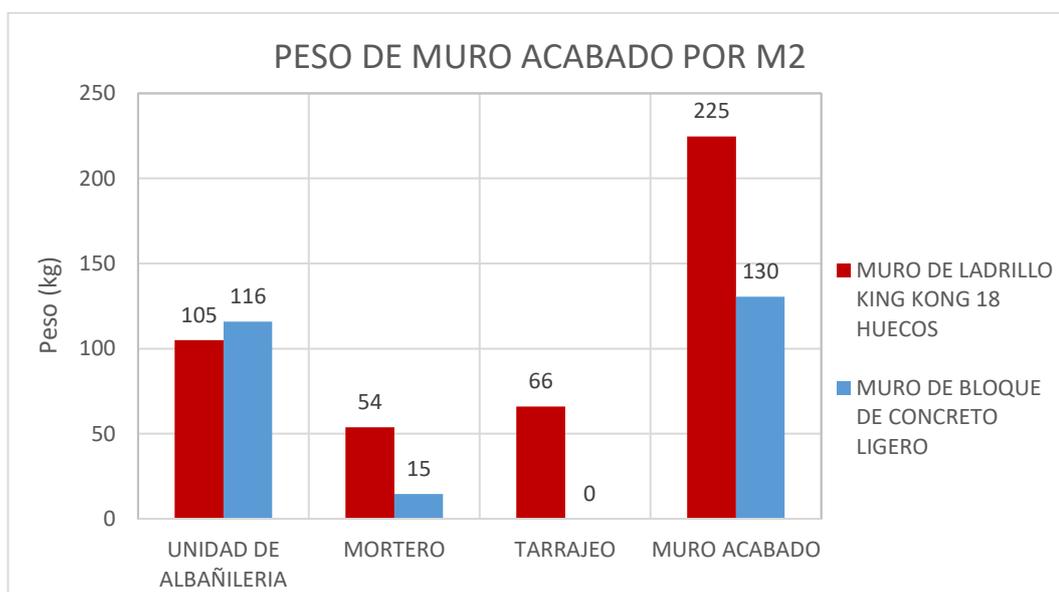


Figura N° 10.9 Comparación de los pesos de los materiales utilizados en los muros hechos con ladrillo King Kong 18 huecos y bloque de concreto ligero, por m².

Fuente: Elaboración Propia

10.4 COSTO TOTAL DE MURO ACABADO POR M²

Se realiza la comparación del costo total de construcción de un muro hecho con bloque de concreto ligero y ladrillo King Kong 18 huecos, los cuales tienen un

costo total por m² de S/107.28 y S/155.68 respectivamente, con estos resultados los muros hechos con bloques de concreto ligero son 31.09% más barato que los muros hechos con ladrillos King Kong 18 huecos, esto se debe principalmente a que los muros hechos con bloques de concreto ligero no necesitan un tarrajeo.

En la Tabla N° 10.4 se muestra la comparación del costo total de construcción de muros hechos con bloque de concreto ligero y ladrillo King Kong 18 huecos.

Tabla N° 10.4 Costo total de construcción de muro por m².

PARTIDAS	COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE MURO ACABADO	
	BLOQUE DE CONCRETO LIGERO	LADRILLO KING KONG 18 HUECOS
MURO CONSTRUIDO	S/ 67.57	S/ 65.10
TARRAJEO DE MURO	-	S/ 50.87
PINTURA DE MURO	S/ 39.71	S/ 39.71
TOTAL	S/ 107.28	S/ 155.68

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- 1) La dosificación elegida para la elaboración de bloques de concreto ligero es la dosificación C1 ($a/c=0.5$, 25% de cal y $D=1400 \text{ kg/m}^3$), la resistencia a la compresión a los 28 días de cubos de 10cm de lado es 13% mayor a la resistencia mínima de la NTP 399.600.
- 2) La dosificación elegida para el mortero de albañilería es la dosificación M1 (cemento/arena =1/3), la resistencia a la compresión a los 28 días de cubos de mortero es 280.71 kg/cm^2 , el cual es la mayor resistencia en comparación con las dosificaciones M2 y M3.
- 3) Para las condiciones de la presente investigación la resistencia a la compresión promedio del bloque de concreto ligero a los 28 días supera en un 21% la resistencia mínima de la NTP 399.600.
- 4) La resistencia a la compresión de las probetas y cubos de concreto ligero representan el 82% y 93% de la resistencia del bloque de concreto ligero respectivamente. De los resultados anteriores y para las condiciones de la presente investigación los cubos representan mejor al concreto ligero que las probetas.
- 5) Para las condiciones de la presente investigación la absorción promedio del bloque de concreto ligero representa el 89% del valor máximo de la NTP 399.602. Este alto valor de absorción se debe al contenido de vacíos dentro de la estructura del concreto ligero.
- 6) La densidad promedio del bloque de concreto ligero representa el 58% de la densidad de un concreto convencional de 2400 kg/m^3 . Este resultado se debe a la incorporación del aditivo espumante dentro del concreto según el diseño establecido.
- 7) La resistencia a la compresión de pilas de bloques de concreto ligero representa el 55% del resultado obtenida en otra tesis. Este resultado se debe a que la densidad de bloque de la presente investigación es menor a la densidad obtenida en otra tesis.
- 8) La resistencia a la compresión diagonal de muretes de la presente investigación es 72% mayor al resultado obtenida en otra tesis. Este resultado se debe principalmente a la mayor adherencia bloque-mortero

de la presente investigación que la adherencia bloque-mortero de la otra tesis.

- 9) El peso por m² de muro acabado de bloque de concreto ligero es 42% más ligero que el muro acabado de ladrillo King Kong 18 huecos. Este resultado se debe a la ausencia de tarrajeo y el uso de menor cantidad de mortero de albañilería.
- 10) El costo total por m² de muro acabado de bloque de concreto ligero es 31% más económico que el muro acabado de ladrillo King Kong 18 huecos. La reducción de costo se debe principalmente a la ausencia de tarrajeo.
- 11) La implementación del bloque de concreto ligero dentro de las construcciones trae un ahorro en costo y tiempo, además las estructuras hechas de este material tienen mejores propiedades térmicas y acústicas que las estructuras hechas con concreto convencional.

RECOMENDACIONES

- 1) Los agregados deben tener menos de 5% de material muy fino según la NTP 400.037, esto ayuda a la adherencia del agregado con el cemento.
- 2) Se recomienda corregir el diseño de mezcla por humedad antes de cada proceso de mezclado, esta propiedad es diferente cada día debido al cambio constante de temperatura y humedad del ambiente.
- 3) Para la fabricación de bloques de concreto ligero a gran escala se recomienda utilizar moldes metálicos debido a que se le puede dar una mayor cantidad de uso a comparación de la madera, y que además resulta más económico en el tiempo.
- 4) No se recomienda el uso del agregado grueso en la mezcla debido a que estas no pueden ser suspendidas por las burbujas de aire.
- 5) Se recomienda utilizar el mismo tiempo para cada proceso de mezclado, esto se debe a que la producción de espuma tiene relación directa con el tiempo de mezclado.
- 6) Se recomienda realizar una investigación del concreto ligero adicionando fibras para determinar la influencia en las propiedades del concreto fresco y endurecido.
- 7) Se recomienda realizar una investigación del concreto ligero con curado en autoclave y compararla con el curado tradicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Concrete Institute (ACI), *ACI 116, Terminología del cemento y el hormigón*, Comité ACI 116; Michigan, 2010.
2. American Concrete Institute (ACI), *ACI 211.2, Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*, Comité ACI 211; Michigan, 1998.
3. American Concrete Institute (ACI), *ACI 213R, Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*, Comité ACI 213; Michigan, 2014.
4. American Concrete Institute (ACI), *ACI 523.1R, Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete*, Comité ACI 523; Michigan, 2006.
5. American Concrete Institute (ACI), *ACI 523.2R, Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units*, Comité ACI 523; Michigan, 1996.
6. American Concrete Institute (ACI), *ACI 523.3R, Guide for Cellular Concrete above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)*, Comité ACI 523; Michigan, 2014.
7. American Society for Testing and Material (ASTM), *ASTM C125, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*, Journal of Testing and Evaluation; Pennsylvania, 2010.
8. Capítulo Estudiantil ACI USAC-Quetzaltenango, "Fundamentos, especificaciones, usos y futuro del concreto celular en Guatemala"- Informe de investigación, USAC; Quetzaltenango, 2015.
9. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 399.600, UNIDADES DE ALBAÑILERÍA: Bloques de concreto para uso no estructurales*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2010.
10. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 399.621, UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2004.
11. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 334.001, CEMENTO, Definición y nomenclatura*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2016.

12. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 334.005, CEMENTO, Método de ensayo para determinar la densidad del cemento pórtland*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2018.
13. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 334.009, CEMENTO, Cemento pórtland, Requisitos*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2018.
14. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 400.011, AGREGADOS, Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2018.
15. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 400.037, AGREGADOS, Agregados para concreto*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2018.
16. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 400.022, AGREGADOS, Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico)*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2013.
17. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 400.017, AGREGADO, Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2011.
18. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 400.012, AGREGADOS, Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2013.
19. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 339.183, CONCRETO, Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2013.
20. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 339.035, CONCRETO, Método de ensayo para la medición*

- del asentamiento del concreto de cemento*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2015.
21. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 339.046, CONCRETO, Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2008.
 22. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 339.085, CONCRETO, Método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de hormigones frescos, por el método de la mesa de sacudidas*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 1981.
 23. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 339.082, CONCRETO, Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezcla por medio de la resistencia a la penetración*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2017.
 24. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 339.077, CONCRETO, Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2013.
 25. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 399.601, UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Ladrillos de concreto*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2016.
 26. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 400.006, COORDINACIÓN MODULAR DE LA CONSTRUCCIÓN, Bloques huecos de concreto para muros y tabiques, Medidas modulares*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 1981.
 27. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 399.607, UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Agregados para morteros de albañilería. Requisitos*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2018.
 28. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales (INDECOPI), *Norma Técnica Peruana 399.602, UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Bloques de*

- concreto para uso estructural. requisitos. Requisitos*, Dirección de Normalización- INACAL; Lima, 2017.
29. Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), *Norma Mexicana NOM-008-ENER, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales*, Diario Oficial Mexicano; Lima, 2001.
30. Hemant K. Sarje y Amol S. Autade, "Study of Performance of Lightweight Concrete"; Department of Civil Engineering Fabtech Technical Campus of Engineering and Research; (Polytechnic) Sangola, Maharashtra, India, 2014.
31. Huarhua Rodríguez, Miguel Ángel, "Características de concretos elaborados con aditivo incorporador de aire y cemento Portland tipo I"-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 1995.
32. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, *Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica E.060 Concreto Armado*; Lima, 2009.
33. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, *Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica E.070 Albañilería*; Lima, 2006.
34. Ninaquispe Manchego, Yury Nestor, "Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural"-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 2007.
35. Phan X. D, "Investigation of Non-Atoclaved clay-concrete units in compression" - Tesis Doctoral, Universidad de Melbourne, Australia, 2005.
36. Piñas Moya, Joshua Miguel, "Estudio de las propiedades térmicas, mecánicas, morfológicas y estructurales del adobe como material biocompuesto"-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Físico; FC-UNI; Lima, 2018.
37. Rivva López Enrique, *Dosificación de concreto normales y con aire incorporado*; Centro de Información Técnica, Lima, 1980.
38. Sandoval Pinedo, Moisés, "Tecnología de la albañilería de bloques de concreto"-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 1991.
39. Short Andrew, Kinniburgh William, *Concreto ligero, Cálculo, Fabricación, Diseño y Aplicaciones*; LIMUSA, México, 1967.

40. Subsecretaria de Vivienda y Urbanismo, *Norma Chilena NCh 853.Of.93, Acondicionamiento térmico – Envolverte térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*, Instituto Nacional de Normalización-INN-Chile; Santiago, 2007.
41. Velarde Huapaya, Ricardo León, “Estudio sobre concreto celular”-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 1984.

ANEXO 1**Peso específico y absorción del agregado fino**

Ensayo de Peso Específico del agregado fino (NTP 400.022)			
Descripción		Cantidad	Unidad
Masa de la fiola		184.2	g
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	S	500	g
Masa de la fiola lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración	C	994.5	g
Masa de la muestra seca al horno	A	491.8	g
Masa de la fiola lleno de agua hasta la marca de calibración	B	684.2	g
Peso específico de masa	A/(B+S-C)	2.59	g/cm³
Peso específico de masa superficialmente seco	S/(B+S-C)	2.64	g/cm³
Peso específico aparente	A/(A+B-C)	2.71	g/cm³
Porcentaje de absorción	(S-A)*100/A	1.67	%

Peso Unitario del agregado fino

Ensayo de Peso Unitario (NTP 400.017)		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso del recipiente	1.576	kg
Volumen del recipiente	0.003	m ³
Peso del recipiente + peso de la arena compactada	6.409	kg
Peso del recipiente + peso de la arena suelta	5.960	kg
Peso Unitario Compactado	1706.97	kg/m³
Peso Unitario Suelto	1548.19	kg/m³

Cantidad que pasa por la malla N°200

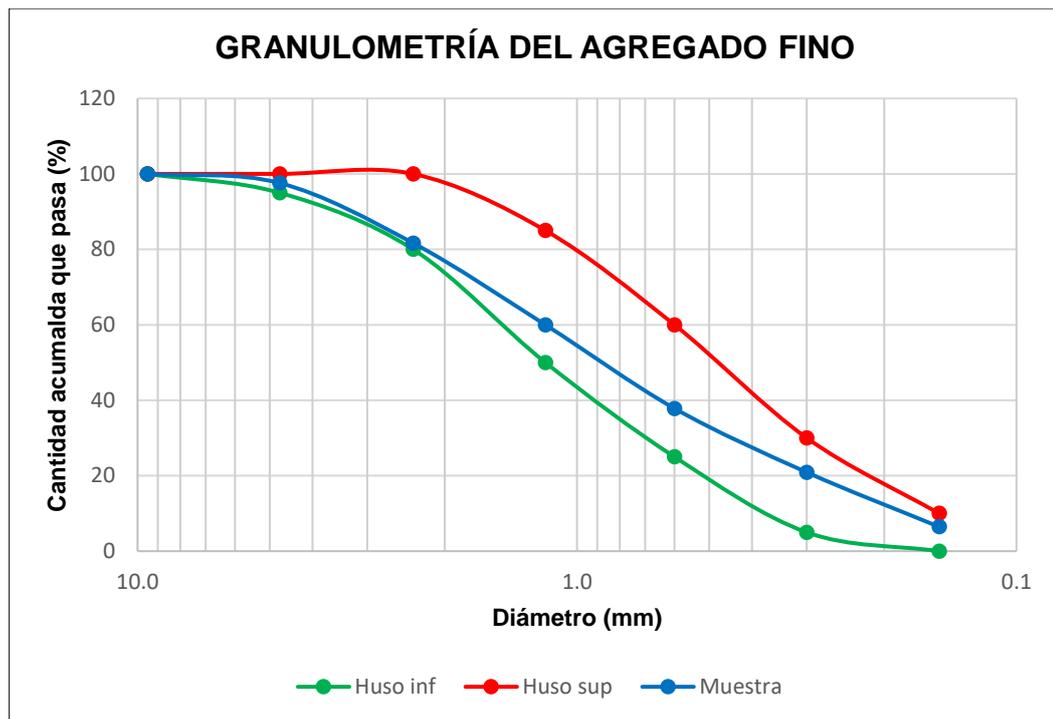
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso seco inicial	500	g
Peso seco lavado	476.6	g
Cantidad que pasa la malla N°200	4.68	%

Granulometría del agregado fino

DIÁMETRO	m (g)	% RETENIDO	%RET. ACUM	%PASA. ACUM
3/8"	0.0	0.00	0	100
N°4	14.5	2.42	2	98
N°8	95.5	15.92	18	82
N°16	130.1	21.68	40	60
N°30	132.9	22.15	62	38
N°50	101.6	16.93	79	21
N°100	86.6	14.43	94	6
FONDO	38.8	6.47		

TOTAL= 600.0

M.F=	2.96
------	------



Contenido de Humedad

Descripción		Cantidad	Unidad
Peso del agregado en estado húmedo	w_n	500.0	g
Peso del agregado en estado seco	w_d	481.9	g
Contenido de Humedad	$100^*(w_n - w_d) / w_d$	3.76	%

Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño A3 (a/c=0.5, sin cal, D=1000 kg/m³)

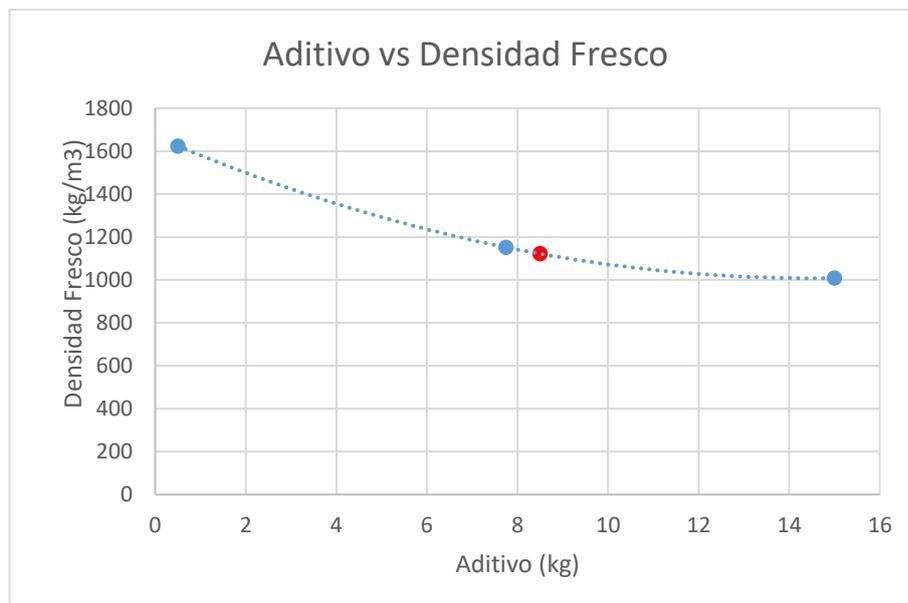
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 SIN CAL D=1000 kg/m ³	Cemento	kg	400.51	400.51	400.51
	Agua	lt	188.86	181.61	174.36
	Arena	kg	532.13	532.13	532.13
	Aditivo	kg	0.50	7.75	15.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
a/c=0.5 SIN CAL D=1000 kg/m ³	0.50	1410.8	1404.0	1412.5	1409.1	1623.7
	7.75	1222.1	1215.3	1223.8	1220.4	1152.0
	15.00	1164.7	1157.9	1166.4	1163.0	1008.5
Resultado de interpolación (γf= 1122kg/m³):					Aditivo= 8.5kg	

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño A2 (a/c=0.5, sin cal, D=1200 kg/m³)

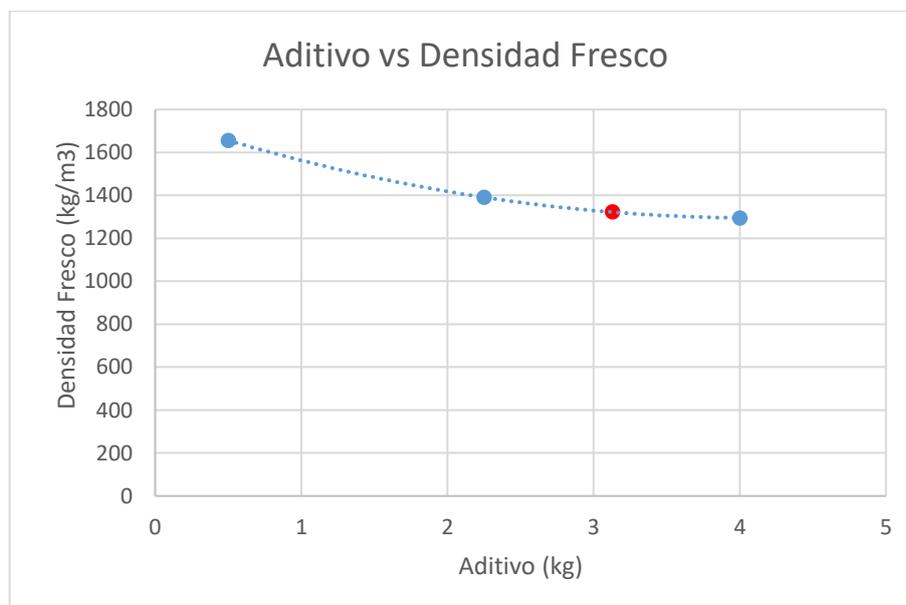
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

		x 1M3			
a/c=0.5 SIN CAL D=1200 kg/m ³	MATERIAL	UNID	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	Cemento	kg	390.99	390.99	390.99
	Agua	lt	179.62	177.87	176.12
	Arena	kg	750.89	750.89	750.89
	Aditivo	kg	0.50	2.25	4.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

a/c=0.5 SIN CAL D=1200 kg/m ³	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
	0.50	1424.0	1416.4	1425.9	1422.1	1656.2
	2.25	1318.0	1310.4	1319.9	1316.1	1391.3
	4.00	1279.7	1272.1	1281.6	1277.8	1295.5
Resultado de interpolación (γf= 1322kg/m³):					Aditivo= 3.13kg	

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño A1 (a/c=0.5, sin cal, D=1400 kg/m³)

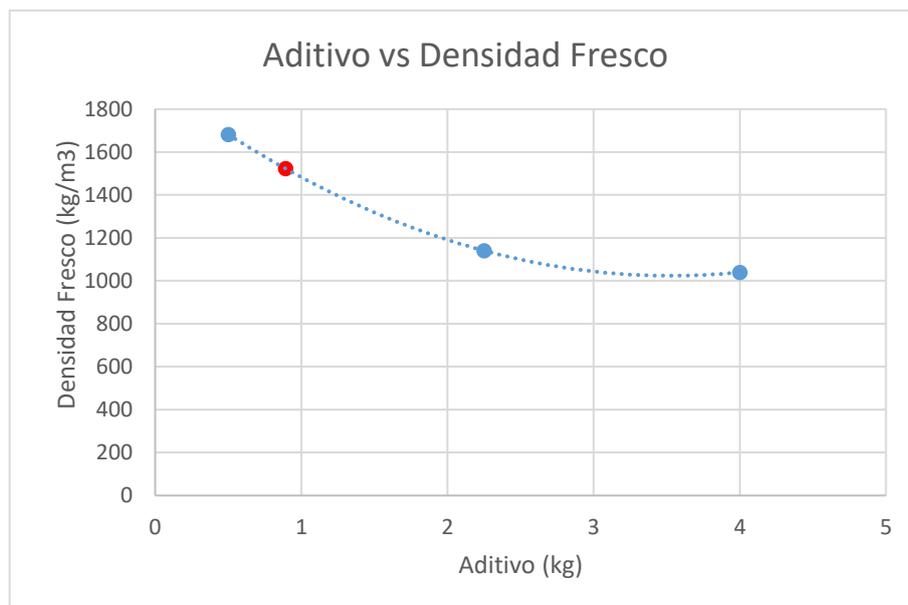
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 SIN CAL D=1400 kg/m ³	Cemento	kg	384.26	384.26	384.26
	Agua	lt	171.87	170.12	168.37
	Arena	kg	965.37	965.37	965.37
	Aditivo	kg	0.50	2.25	4.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
a/c=0.5 SIN CAL D=1400 kg/m ³	0.50	1427.8	1431.7	1438.1	1432.5	1682.3
	2.25	1214.9	1213.5	1219.4	1215.9	1140.8
	4.00	1172.9	1173.0	1180.9	1175.6	1040.0
	Resultado de interpolación (γf= 1522kg/m³):					Aditivo= 0.894kg

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño B3 (a/c=0.5, 15% cal, D=1000 kg/m³)

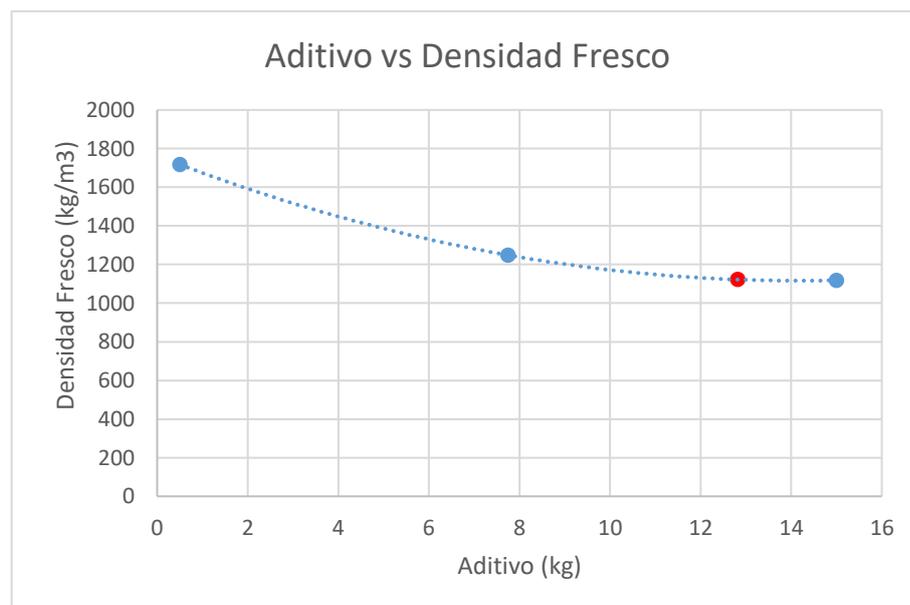
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 15% CAL D=1000 kg/m ³	Cemento	kg	400.51	400.51	400.51
	Cal	kg	60.08	60.08	60.08
	Agua	lt	190.12	182.87	175.62
	Arena	kg	470.80	470.80	470.80
	Aditivo	kg	0.50	7.75	15.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
a/c=0.5 15% CAL D=1000 kg/m ³	0.50	1447.4	1443.8	1448.3	1446.5	1717.2
	7.75	1259.9	1256.3	1260.8	1259.0	1248.4
	15.00	1208.0	1204.4	1208.9	1207.1	1118.7
	Resultado de interpolación (γf= 1122kg/m³):					Aditivo= 12.82kg

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño B2 (a/c=0.5, 15% cal, D=1200 kg/m3)

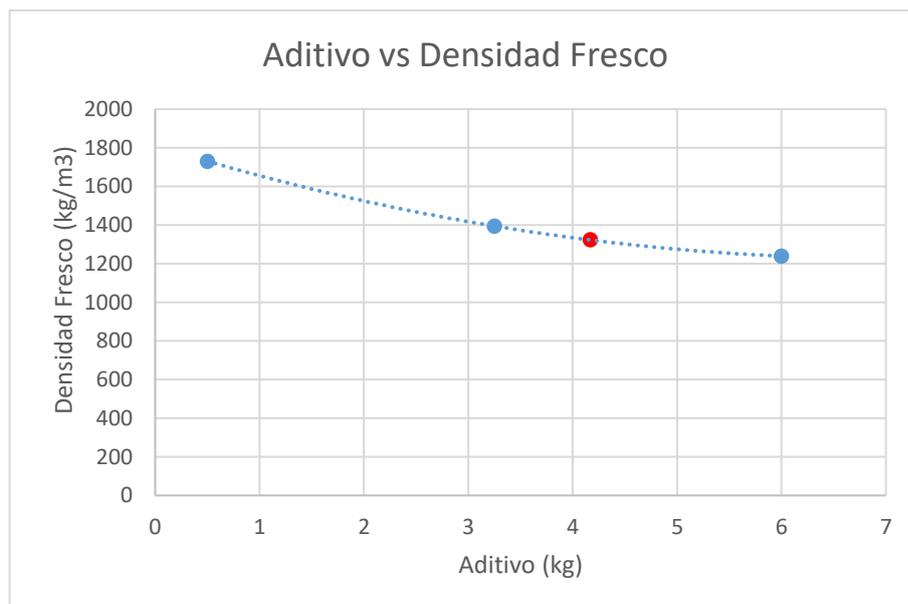
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 15% CAL D=1200 kg/m4	Cemento	kg	390.99	390.99	390.99
	Cal	kg	58.65	58.65	58.65
	Agua	lt	180.85	178.10	175.35
	Arena	kg	691.01	691.01	691.01
	Aditivo	kg	0.50	3.25	6.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m3)
a/c=0.5 15% CAL D=1200 kg/m4	0.50	1452.1	1449.3	1452.8	1451.4	1729.6
	3.25	1317.9	1315.1	1318.6	1317.2	1394.0
	6.00	1255.9	1253.1	1256.6	1255.2	1238.9
	Resultado de interpolación (γf= 1322kg/m3):					Aditivo= 4.17kg

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño B1 (a/c=0.5, 15% cal, D=1400 kg/m³)

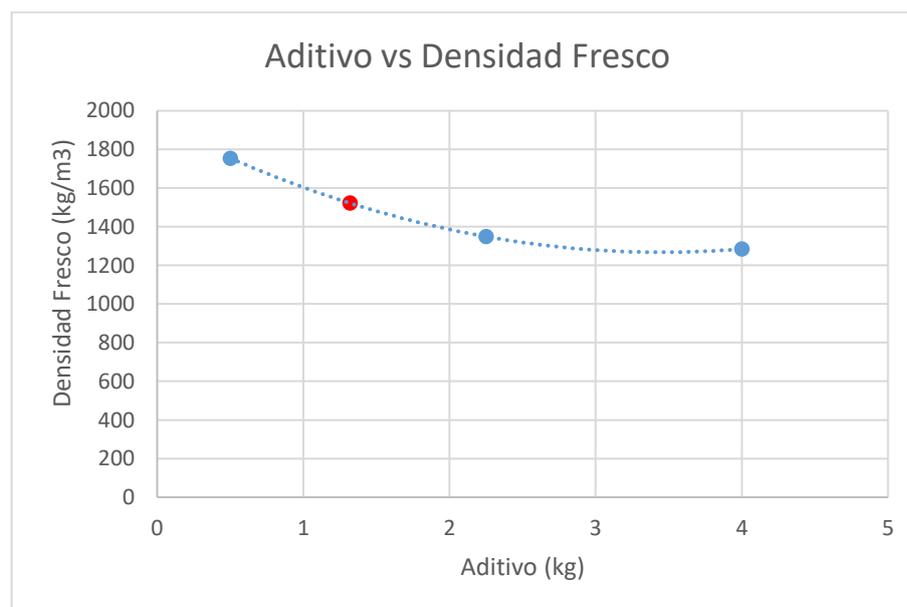
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 15% CAL D=1400 kg/m ³	Cemento	kg	384.26	384.26	384.26
	Cal	kg	171.87	170.12	168.37
	Agua	lt	171.87	170.12	168.37
	Arena	kg	965.37	965.37	965.37
	Aditivo	kg	0.50	2.25	4.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γ _f (kg/m ³)
a/c=0.5 15% CAL D=1400 kg/m ³	0.50	1462.9	1457.3	1464.3	1461.5	1754.8
	2.25	1300.5	1294.9	1301.9	1299.1	1348.8
	4.00	1274.9	1269.3	1276.3	1273.5	1284.7
	Resultado de interpolación (γ_f= 1522kg/m³): Aditivo= 1.32kg					

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño C3 (a/c=0.5, 25% cal, D=1000 kg/m³)

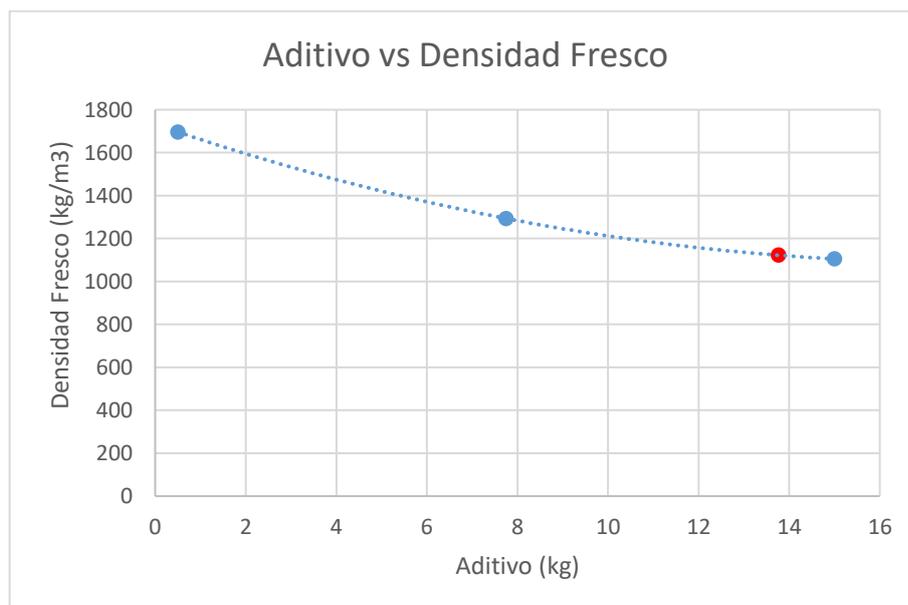
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

		x 1M3			
a/c=0.5 25% CAL D=1000 kg/m ³	MATERIAL	UNID	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	Cemento	kg	400.51	400.51	400.51
	Cal	kg	100.13	100.13	100.13
	Agua	lt	190.95	183.70	176.45
	Arena	kg	429.91	429.91	429.91
	Aditivo	kg	0.50	7.75	15.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

a/c=0.5 25% CAL D=1000 kg/m ³	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
	0.50	1439.6	1433.2	1441.2	1438.0	1696.0
	7.75	1278.6	1272.2	1280.2	1277.0	1293.5
	15.00	1203.3	1196.9	1204.9	1201.7	1105.1
Resultado de interpolación (γf= 1122kg/m³):						Aditivo= 13.77kg

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño C2 (a/c=0.5, 25% cal, D=1200 kg/m³)

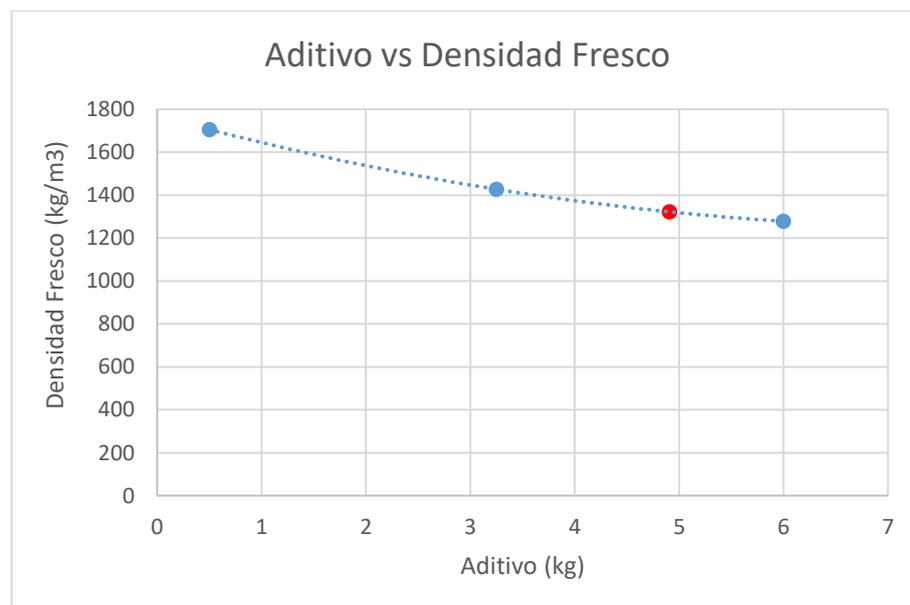
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

		x 1M3			
a/c=0.5 25% CAL D=1200 kg/m ⁴	MATERIAL	UNID	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	Cemento	kg	390.99	390.99	390.99
	Cal	kg	97.75	97.75	97.75
	Agua	lt	181.67	178.92	176.17
	Arena	kg	651.10	651.10	651.10
	Aditivo	kg	0.50	3.25	6.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

a/c=0.5 25% CAL D=1200 kg/m ⁴	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
	0.50	1443.5	1436.3	1445.3	1441.7	1705.2
	3.25	1332.3	1325.1	1334.1	1330.5	1427.2
	6.00	1272.8	1265.6	1274.6	1271.0	1278.5
Resultado de interpolación (γf= 1322kg/m³):						Aditivo= 4.91kg

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño C1 (a/c=0.5, 25% cal, D=1400 kg/m³)

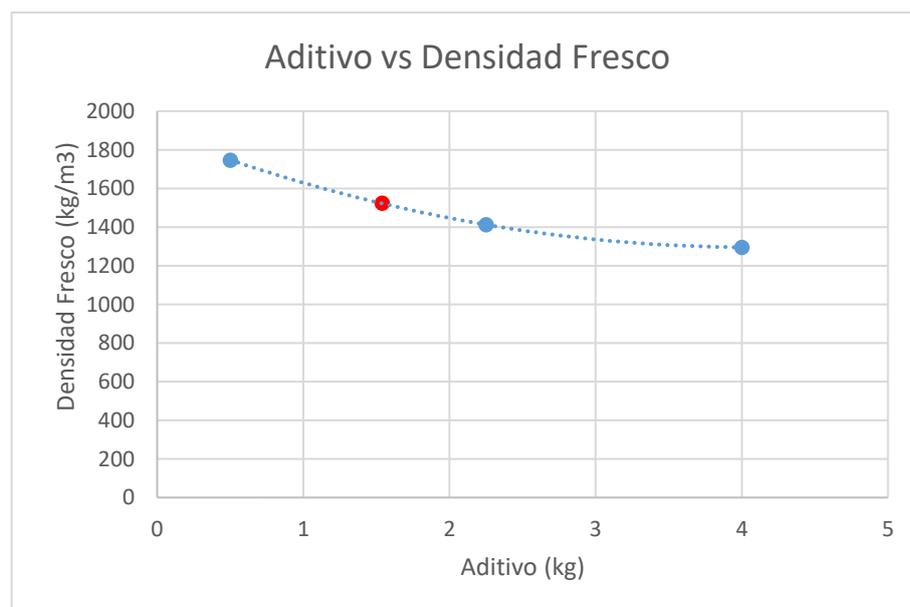
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m ³	Cemento	kg	384.26	384.26	384.26
	Cal	kg	96.06	96.06	96.06
	Agua	lt	173.87	172.12	170.37
	Arena	kg	867.30	867.30	867.30
	Aditivo	kg	0.50	2.25	4.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

a/c=0.5 25% CAL D=1400 kg/m ³	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
	0.50	1459.8	1454.6	1461.1	1458.5	1747.2
	2.25	1325.9	1320.7	1327.2	1324.6	1412.4
	4.00	1279.2	1274.0	1280.5	1277.9	1295.8
Resultado de interpolación (γf= 1522kg/m³):					Aditivo= 1.54kg	

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño D3 (a/c=0.5, 35% cal, D=1000 kg/m3)

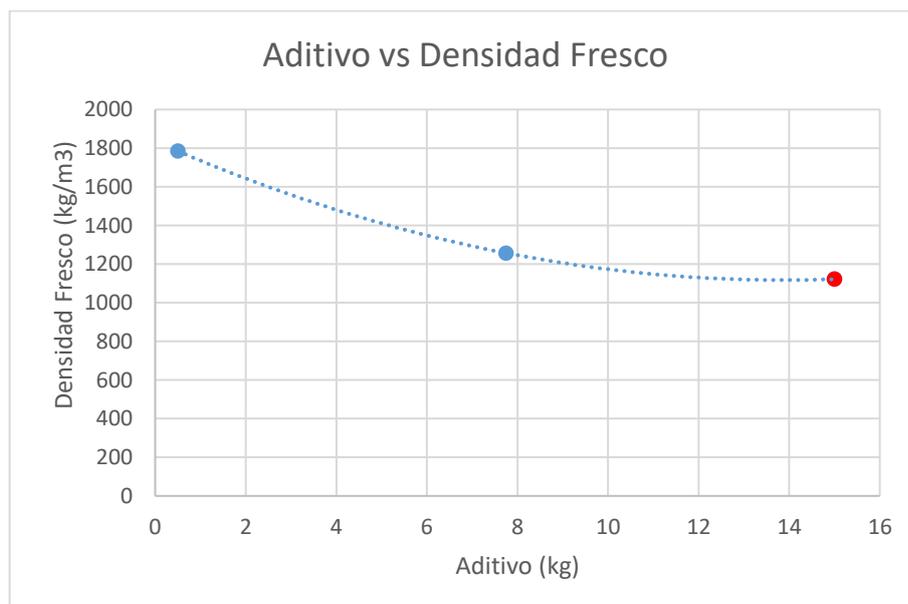
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

	MATERIAL	UNID	x 1M3		
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
a/c=0.5 35% CAL D=1000 kg/m3	Cemento	kg	400.51	400.51	400.51
	Cal	kg	140.18	140.18	140.18
	Agua	lt	191.79	184.54	177.29
	Arena	kg	389.03	389.03	389.03
	Aditivo	kg	0.50	7.75	15.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m3)
a/c=0.5 35% CAL D=1000 kg/m3	0.50	1474.3	1470.7	1475.2	1473.4	1784.6
	7.75	1263.3	1259.7	1264.2	1262.4	1257.1
	15.00	1209.3	1205.7	1210.2	1208.4	1122.0
	Resultado de interpolación (γf= 1122kg/m3):					Aditivo= 15kg

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño D2 (a/c=0.5, 35% cal, D=1200 kg/m3)

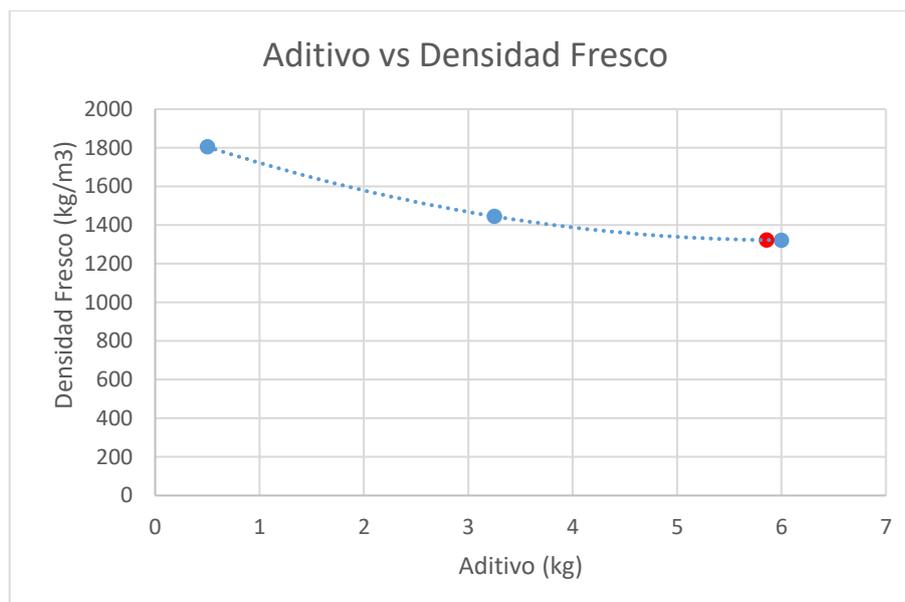
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

		x 1M3			
a/c=0.5 35% CAL D=1200 kg/m4	MATERIAL	UNID	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	Cemento	kg	390.99	390.99	390.99
	Cal	kg	136.85	136.85	136.85
	Agua	lt	182.48	179.73	176.98
	Arena	kg	611.18	611.18	611.18
	Aditivo	kg	0.50	3.25	6.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

a/c=0.5 35% CAL D=1200 kg/m4	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γ_f (kg/m3)
	0.50	1482.8	1478.4	1483.9	1481.7	1805.3
	3.25	1338.7	1334.3	1339.8	1337.6	1445.0
	6.00	1289.3	1284.9	1290.4	1288.2	1321.4
Resultado de interpolación ($\gamma_f= 1322\text{kg/m}^3$):					Aditivo= 5.86kg	

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Determinación de la cantidad de aditivo para el diseño A3 (a/c=0.5, 35% cal, D=1400 kg/m³)

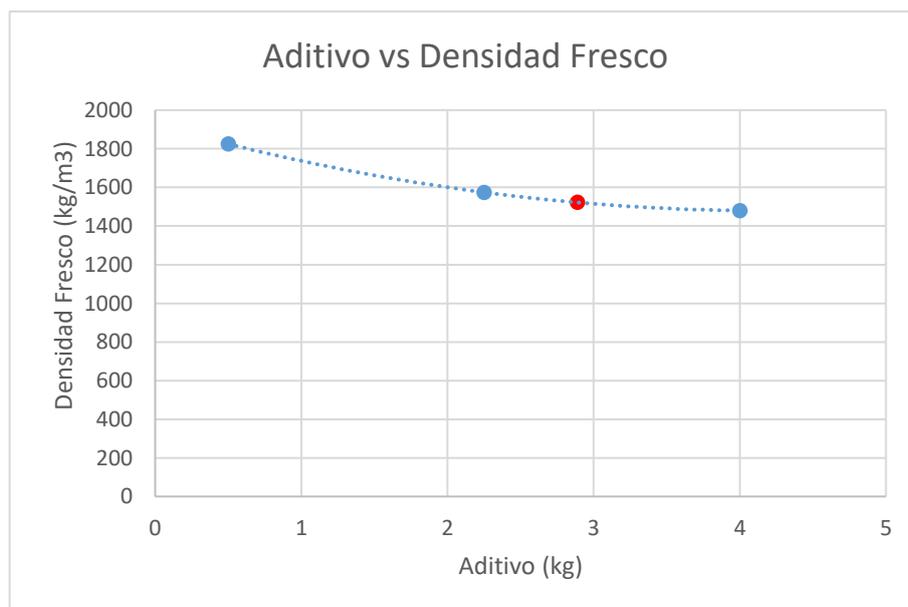
-Diseño 1, 2 y 3 para ensayo de peso unitario del concreto fresco:

		x 1M3			
a/c=0.5 35% CAL D=1400 kg/m ⁵	MATERIAL	UNID	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	Cemento	kg	384.26	384.26	384.26
	Cal	kg	134.49	134.49	134.49
	Agua	lt	174.68	172.93	171.18
	Arena	kg	828.07	828.07	828.07
	Aditivo	kg	0.50	2.25	4.00

-Resultado del ensayo de peso unitario del concreto fresco y cantidad de aditivo determinado por iteración:

a/c=0.5 35% CAL D=1400 kg/m ⁵	Aditivo (kg)	Medición 1 (g)	Medición 2 (g)	Medición 3 (g)	Peso Prom.(g)	γf (kg/m ³)
	0.50	1491.4	1484.2	1493.2	1489.6	1824.9
	2.25	1391.2	1384.0	1393.0	1389.4	1574.5
	4.00	1353.6	1346.4	1355.4	1351.8	1480.6
Resultado de interpolación (γf= 1522kg/m³):					Aditivo= 2.89kg	

-Gráfica de cantidad de aditivo y densidad del concreto fresco:



Resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero (diseño A1, A2 y A3)

Diseño	ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO - SIN CAL										
	Densidad (kg/m ³)	Edad	Espéc.	a (cm)	b (cm)	Peso (g)	Carga (kg)	f'c (kg/m ³)	f'c prom (kg/m ³)		
A1	D=1400	7 días	A1E1	10.03	10.03	1482.6	2612	25.96	28.44		
			A1E2	9.99	9.99	1482.0	3032	30.38			
			A1E3	10.05	9.98	1510.4	3358	33.48			
			A1E4	10.00	10.03	1482.7	2399	23.92			
		14 días	A1E5	9.95	10.13	1529.5	3480	34.53	35.09		
			A1E6	10.03	10.03	1522.6	3350	33.30			
			A1E7	9.96	10.07	1506.9	3670	36.59			
		28 días	A1E8	10.01	10.05	1518.0	3615	35.93	40.40		
			A1E9	10.10	10.00	1520.4	4117	40.76			
			A1E10	9.99	9.94	1503.0	4607	46.39			
		A2	D=1200	7 días	A2E1	10.02	10.01	1277.5	1060	10.57	11.99
					A2E2	10.01	10.03	1294.5	1036	10.32	
A2E3	10.05				10.05	1279.0	1400	13.86			
A2E4	9.96				10.03	1269.0	1320	13.21			
14 días	A2E5			10.03	10.10	1283.6	1618	15.97	14.50		
	A2E6			9.99	10.04	1294.8	1368	13.64			
	A2E7			10.08	9.98	1291.6	1398	13.90			
28 días	A2E8			10.07	10.00	1289.0	1458	14.48	16.12		
	A2E9			9.97	10.07	1288.1	1890	18.83			
	A2E10			10.01	10.10	1311.5	1584	15.67			
A3	D=1000			7 días	A3E1	10.00	10.00	1087.5	500	5.00	5.26
					A3E2	9.99	10.02	1066.5	510	5.09	
		A3E3	10.00		10.02	1158.0	577	5.76			
		A3E4	10.03		10.01	1111.5	520	5.18			
		14 días	A3E5	9.97	10.07	1102.6	689	6.86	6.73		
			A3E6	9.98	9.97	1100.6	679	6.82			
			A3E7	10.07	10.02	1143.6	690	6.84			
		28 días	A3E8	10.03	10.02	1090.8	642	6.39	7.34		
			A3E9	9.99	10.00	1093.0	720	7.21			
			A3E10	10.01	10.02	1043.8	698	6.96			
		28 días	A3E11	9.98	9.98	1049.1	752	7.55	7.34		
			A3E12	10.00	9.99	1028.8	765	7.66			

Resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero (diseño B1, B2 y B3)

Diseño	ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO - CAL 15%								
	Densidad (kg/m ³)	Edad	Espéc.	a (cm)	b (cm)	Peso (g)	Carga (kg)	f'c (kg/m ³)	f'c prom (kg/m ³)
B1	D=1400	7 días	B1E1	10.01	10.02	1456.1	2975	29.66	30.31
			B1E2	9.99	10.00	1418.0	3233	32.36	
			B1E3	10.03	9.99	1425.3	2870	28.64	
			B1E4	10.00	10.03	1430.2	3068	30.59	
		14 días	B1E5	9.94	10.08	1521.0	3875	38.67	35.95
			B1E6	9.97	10.02	1468.6	3475	34.78	
			B1E7	9.98	10.05	1506.0	3448	34.38	
			B1E8	10.02	9.98	1450.3	3596	35.96	
		28 días	B1E9	10.01	10.01	1482.0	4097	40.89	42.18
			B1E10	9.94	9.95	1505.5	4580	46.31	
			B1E11	9.99	10.03	1498.0	3800	37.92	
			B1E12	10.01	10.01	1502.3	4368	43.59	
B2	D=1200	7 días	B2E1	10.04	10.02	1271.3	1848	18.37	19.16
			B2E2	10.02	10.00	1254.4	2021	20.17	
			B2E3	10.01	9.99	1290.5	1857	18.57	
			B2E4	9.98	10.01	1285.4	1950	19.52	
		14 días	B2E5	10.00	10.02	1253.5	2328	23.23	22.50
			B2E6	9.98	10.03	1284.9	2252	22.50	
			B2E7	9.98	9.98	1261.1	2078	20.86	
			B2E8	10.06	10.01	1276.7	2356	23.40	
		28 días	B2E9	9.98	10.06	1276.3	2887	28.76	26.01
			B2E10	10.02	10.03	1210.5	2355	23.43	
			B2E11	9.99	10.04	1247.1	2642	26.34	
			B2E12	10.01	10.05	1305.6	2567	25.52	
B3	D=1000	7 días	B3E1	10.00	10.01	1037.0	1340	13.39	13.10
			B3E2	9.99	10.00	1046.1	1410	14.11	
			B3E3	10.01	10.02	1138.5	1377	13.73	
			B3E4	10.01	10.03	1101.3	1120	11.16	
		14 días	B3E5	9.98	10.06	1113.6	1535	15.29	16.82
			B3E6	9.98	9.98	1098.2	1605	16.11	
			B3E7	10.02	10.01	1123.6	1750	17.45	
			B3E8	10.01	10.02	1085.4	1847	18.41	
		28 días	B3E9	9.99	9.99	1100.6	1880	18.84	18.97
			B3E10	10.01	10.01	1053.5	1790	17.86	
			B3E11	9.99	9.98	1029.8	2150	21.56	
			B3E12	10.01	9.99	1035.7	1760	17.60	

Resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero (diseño C1, C2 y C3)

Diseño	ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO - CAL 25%										
	Densidad (kg/m ³)	Edad	Espéc.	a (cm)	b (cm)	Peso (g)	Carga (kg)	f'c (kg/m ³)	f'c prom (kg/m ³)		
C1	D=1400	7 días	C1E1	9.99	10.01	1423.5	3176	31.76	32.09		
			C1E2	10.00	10.01	1481.4	3218	32.15			
			C1E3	10.02	10.00	1453.3	3167	31.61			
			C1E4	10.01	10.02	1428.1	3295	32.85			
		14 días	C1E5	9.98	10.02	1409.8	4445	44.45	42.93		
			C1E6	9.99	10.01	1418.3	3994	39.94			
			C1E7	10.01	10.04	1516.2	4205	41.84			
		28 días	C1E8	10.03	9.99	1448.2	4560	45.51	47.77		
			C1E9	9.99	10.02	1473.4	4749	47.44			
			C1E10	9.97	9.97	1490.1	5007	50.37			
		C2	D=1200	7 días	C2E1	10.02	9.98	1295.1	1994	19.94	20.78
					C2E2	10.00	10.01	1234.5	2121	21.19	
C2E3	10.03				9.98	1287.3	2257	22.55			
C2E4	10.00				10.03	1275.3	1950	19.44			
14 días	C2E5			10.01	9.98	1236.2	2496	24.99	26.08		
	C2E6			9.99	10.01	1247.9	2544	25.44			
	C2E7			9.97	9.99	1231.1	2664	26.75			
28 días	C2E8			10.07	10.02	1286.7	2740	27.16	29.78		
	C2E9			9.99	10.05	1256.2	2904	28.92			
	C2E10			10.01	10.04	1203.3	3006	29.91			
C3	D=1000			7 días	C3E1	10.01	10.02	1075.4	1569	15.64	16.94
					C3E2	9.99	10.01	1096.4	1745	17.45	
		C3E3	10.01		10.02	1175.5	1832	18.27			
		C3E4	10.02		10.02	1141.2	1648	16.41			
		14 días	C3E5	9.99	10.05	1133.5	2245	22.36	22.03		
			C3E6	9.98	9.98	1078.3	2139	21.48			
			C3E7	10.01	10.01	1145.5	2195	21.91			
		28 días	C3E8	10.02	10.02	1075.0	2245	22.36	24.97		
			C3E9	9.98	9.99	1010.2	2353	23.60			
			C3E10	10.03	9.99	1123.6	2590	25.85			
		28 días	C3E11	9.98	10.00	1090.1	2467	24.72	24.97		
			C3E12	10.02	9.98	1154.8	2572	25.72			

Resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero (diseño D1, D2 y D3)

Diseño	ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO - CAL 35%										
	Densidad (kg/m ³)	Edad	Espéc.	a (cm)	b (cm)	Peso (g)	Carga (kg)	f'c (kg/m ³)	f'c prom (kg/m ³)		
D1	D=1400	7 días	D1E1	10.00	9.97	1434.2	2831	28.40	29.10		
			D1E2	10.01	10.03	1425.5	3045	30.33			
			D1E3	10.01	10.00	1436.2	2783	27.80			
			D1E4	10.02	10.01	1485.2	2998	29.89			
		14 días	D1E5	9.99	9.99	1478.3	3940	39.48	36.96		
			D1E6	9.98	10.03	1438.5	3656	36.52			
			D1E7	10.00	10.02	1566.9	3750	37.43			
		28 días	D1E8	10.02	10.00	1464.0	3449	34.42	41.43		
			D1E9	10.01	10.03	1456.5	4245	42.28			
			D1E10	9.97	9.96	1489.6	4120	41.49			
		D2	D=1200	7 días	D2E1	10.01	9.99	1251.0	1540	15.40	15.82
					D2E2	10.01	10.03	1249.8	1850	18.43	
D2E3	10.02				10.01	1298.6	1543	15.38			
D2E4	10.01				9.98	1259.9	1405	14.06			
14 días	D2E5			9.98	10.01	1268.3	1947	19.49	19.12		
	D2E6			10.00	10.02	1269.5	2045	20.41			
	D2E7			9.99	9.98	1213.6	1731	17.36			
28 días	D2E8			10.06	10.01	1256.0	1937	19.24	22.46		
	D2E9			10.00	10.01	1265.1	2104	21.02			
	D2E10			10.02	10.03	1213.0	2341	23.29			
D3	D=1000			7 días	D3E1	10.00	9.99	1005.1	1205	12.06	11.51
					D3E2	10.04	9.98	1061.2	1254	12.52	
		D3E3	10.02		10.01	1172.6	995	9.92			
		D3E4	10.03		10.01	1102.8	1158	11.53			
		14 días	D3E5	10.01	10.03	1100.5	1350	13.45	14.88		
			D3E6	9.99	9.99	1069.3	1560	15.63			
			D3E7	10.03	10.02	1125.0	1410	14.03			
		28 días	D3E8	10.01	9.99	1005.9	1640	16.40	16.78		
			D3E9	9.98	10.02	1017.9	1694	16.94			
			D3E10	10.01	9.99	1058.3	1563	15.63			
		28 días	D3E11	9.98	10.02	1100.2	1750	17.50	16.78		
			D3E12	10.01	10.00	1064.3	1705	17.03			

Ensayos de concreto fresco diseño C1**-Peso unitario**

Ensayo de peso unitario del concreto fresco		
Descripción	Cantidad	Unidad
W molde	1.54	kg
W molde + concreto	5.83	kg
vol molde	0.003	m ³
Peso Unitario	1515	kg/m³

-Consistencia

Ensayo de consistencia del concreto ligero		
Descripción	Cantidad	Unidad
Diámetro inicial (Di)	25	cm
Diámetro inicial (Df)	40.5	cm
Fluidez ((Df-Di)/Di)	62	%

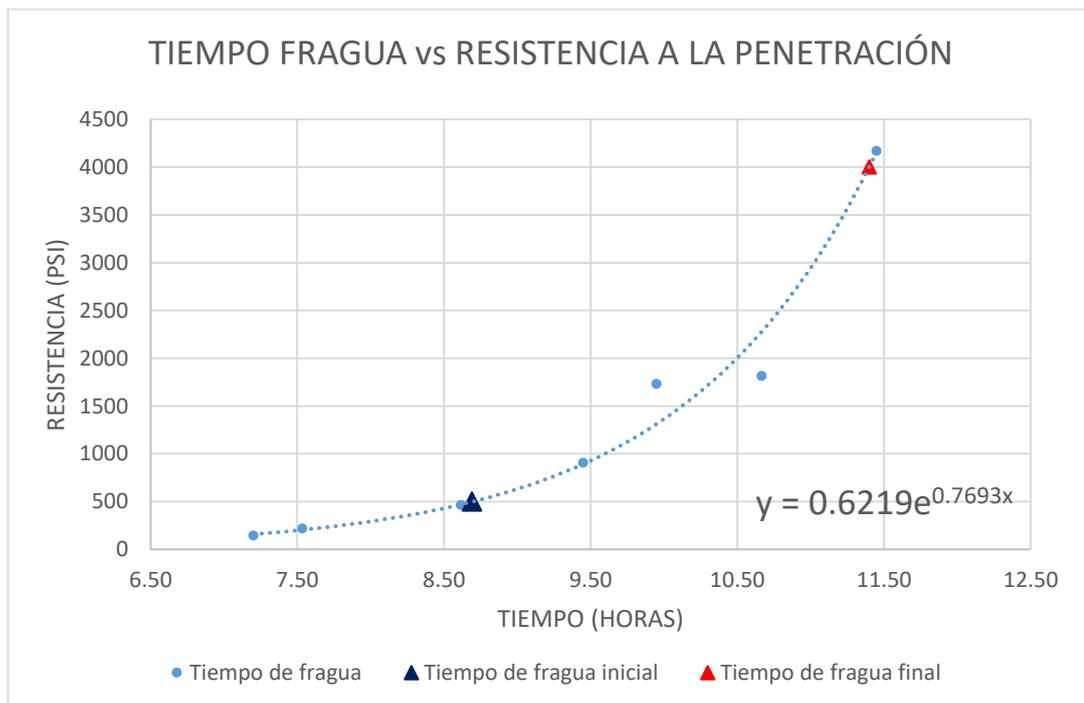
-Exudación

Ensayo de exudación del concreto ligero			
Descripción		Cantidad	Unidad
Agua de mezclado neta (cantidad de agua total menos el agua absorbida por los agregados)	w	4.26	kg
Masa total de la tanda	W	37.79	kg
Masa de la muestra	S	5605	g
Masa del agua en la muestra de ensayo	$C=(w/W)/S$	632	g
Masa del agua de exudación	D	7.5	g
Exudación	(D/C)*100	1.19	%

-Tiempo de fragua

HORA DE INICIO DE ENSAYO:	8:20	HORAS
---------------------------	------	-------

HORA	ÁREA (in ²)	FUERZA 1 (lb)	FUERZA 2 (lb)	RESIS.1 (PSI)	RESIS. 2 (PSI)	RESIS. PROM (PSI)
15:32	0.9940	138	144	139	145	142
15:52	0.5185	110	116	212	224	218
16:57	0.2485	118	112	475	451	463
17:47	0.1104	100	100	906	906	906
18:17	0.0491	80	90	1629	1833	1731
19:00	0.0276	50	50	1812	1812	1812
19:47	0.0276	115	115	4167	4167	4167



	HORA (h)	RESISTENCIA (PSI)
T F inicial	17:01	500
T F final	19:44	4000

Peso específico y absorción del agregado fino para mortero de albañilería

Ensayo de Peso Específico del agregado fino (NTP 400.022)			
Descripción		Cantidad	Unidad
Masa de la fiola		184.2	g
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	S	500.0	g
Masa de la fiola lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración	C	994.2	g
Masa de la muestra seca al horno	A	495.2	g
Masa de la fiola lleno de agua hasta la marca de calibración	B	684.2	g
Peso específico de masa	A/(B+S-C)	2.61	g/cm³
Peso específico de masa superficialmente seco	S/(B+S-C)	2.63	g/cm³
Peso específico aparente	A/(A+B-C)	2.67	g/cm³
Porcentaje de absorción	(S-A)*100/A	0.97	%

Granulometría del agregado fino para mortero de albañilería

DIÁMETRO	m (g)	% RETENIDO	%RET. ACUM	%PASA. ACUM
N°4	0.0	0.00	0	100
N°8	25.8	4.30	4	96
N°16	127.7	21.28	26	74
N°30	137.3	22.88	48	52
N°50	134.2	22.37	71	29
N°100	90.2	15.03	86	14
N°200	57.0	9.50	95	5
FONDO	27.8	4.63		

TOTAL= 600.0

M.F=	2.35
-------------	-------------



Contenido de Humedad del agregado fino para mortero de albañilería

Descripción		Cantidad	Unidad
Peso del agregado en estado húmedo	w_n	500.0	g
Peso del agregado en estado seco	w_d	497.0	g
Contenido de Humedad	$100*(w_n - w_d)/ w_d$	0.60	%

Determinación del diseño del mortero de albañilería

Diseño (Cemento / arena)	Dosificación	Diámetro (cm)	Dp (cm)	Fluidez (%)
1:3	arena: 900 g cemento: 300 g agua: 200 ml	21.19	21.29	109
		21.39		
		21.3		
		21.26		
1:4	arena: 2000 g cemento: 500 g agua: 406 ml	21.27	21.29	110
		21.25		
		21.27		
		21.38		
1:5	arena: 1000 g cemento: 200 g agua: 202 ml	21.89	21.69	113
		21.6		
		21.65		
		21.6		

Resistencia a la compresión de cubos de mortero de albañilería (28 días)

Resistencia a la compresión de cubos de morteros para albañilería 28 días de edad						
Diseño	a (cm)	b (cm)	Peso (kg)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esf. Prom. (kg/cm ²)
1:3	5.09	5.10	288.50	7462	287.45	280.71
	5.10	5.09	286.40	6951	267.77	
	5.11	5.10	287.50	7477	286.90	
1:4	5.09	5.10	284.40	6043	232.79	223.82
	5.10	5.10	286.00	5771	221.88	
	5.10	5.09	285.50	5628	216.80	
1:5	5.10	5.11	278.70	4256	163.31	161.92
	5.10	5.11	286.10	3987	152.99	
	5.10	5.10	278.30	4408	169.47	

Resistencia a la compresión de bloques de concreto ligero del diseño elegido (diseño C1)

Edad	L (cm)	e (cm)	h (cm)	Peso (kg)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esf. Prom (kg/cm ²)
7 días	38.9	9.02	19.05	10108.5	13144	37.46	36.27
	38.8	9.05	19.04	10028.0	13784	39.25	
	38.9	9.03	19.08	9868.0	11367	32.36	
	39.0	9.09	19.10	10002.0	12768	36.02	
14 días	38.8	9.01	19.09	9682.0	16360	46.80	46.29
	38.7	9.00	19.00	9648.0	15147	43.49	
	38.9	9.05	19.11	9163.0	17088	48.54	
	38.8	9.01	19.09	9498.0	16200	46.34	
28 días	39.0	9.06	19.12	10038.5	18183	51.46	51.13
	38.8	9.03	19.06	10144.5	17516	49.99	
	38.8	9.07	19.08	10180.5	17205	48.89	
	38.9	9.00	19.12	10122.0	18970	54.18	
	38.9	9.01	19.10	10132.5	17721	50.56	
	38.8	9.05	19.07	10131.5	17760	50.58	
	38.9	9.03	19.12	10125.5	18051	51.39	
	38.9	9.04	19.10	10130.0	18025	51.26	
	38.8	9.06	19.08	10125.0	17950	51.06	
38.8	9.02	19.06	10133.0	18165	51.90		

Resistencia a la compresión de cubos de 10cm de concreto ligero (28 días)

Resistencia a la compresión de cubos de 10cm de concreto ligero						
Cubo	a (cm)	b (cm)	Masa (g)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Mpa)	Esf. Prom (Mpa)
1	10.10	9.85	1588.0	4696	4.63	4.65
2	10.13	10.14	1524.0	4631	4.42	
3	9.71	10.08	1542.5	4660	4.67	
4	9.83	10.15	1557.0	4673	4.59	
5	10.10	9.85	1547.0	4676	4.61	
6	9.67	9.81	1482.5	4513	4.67	
7	9.97	10.20	1577.5	4794	4.62	
8	10.07	10.03	1611.5	4957	4.81	
9	9.89	10.02	1600.0	4908	4.86	
10	9.98	9.85	1525.0	4672	4.66	

Resistencia a la compresión de probetas de concreto ligero (28 días)

Resistencia a la compresión de probetas de concreto ligero						
Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Masa (g)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Mpa)	Esf. Prom (Mpa)
1	10.10	10.06	2499.5	3250	3.99	4.10
2	10.13	10.06	2494.0	3150	3.86	
3	10.09	10.07	2537.0	3470	4.26	
4	10.10	10.10	2487.0	3658	4.48	
5	10.09	10.06	2501.0	3150	3.87	
6	10.15	10.15	2574.5	3280	3.98	
7	10.08	10.17	2585.0	3254	3.96	
8	10.18	10.17	2602.5	3560	4.29	
9	10.35	10.26	2653.0	3750	4.41	
10	10.32	10.34	2648.0	3330	3.90	

Variaciones permisibles en las dimensiones de los bloques de concreto ligero

Espécimen	Largo (mm)	Espesor (mm)	Altura (mm)	Largo prom. (mm)	Espesor prom. (mm)	Altura prom. (mm)	Var-Largo (mm)	Var-Espesor (mm)	Var-Altura (mm)
Es1	389	90.2	190.3	389.0	90.3	190.4	1.0	-0.3	-0.4
	389	90.4	190.4						
Es2	389	90.5	190.5	389.0	90.4	190.5	1.0	-0.4	-0.5
	389	90.3	190.4						
Es3	389	90.5	190.0	389.0	90.5	190.0	1.0	-0.5	0.0
	389	90.5	190.0						
Es4	390	90.9	191.6	390.0	90.9	191.8	0.0	-0.9	-1.8
	390	90.8	192.0						
Es5	388	90.2	190.5	388.0	90.2	190.7	2.0	-0.2	-0.7
	388	90.1	190.8						
Es6	389	90.0	190.0	389.0	90.0	190.0	1.0	0.0	0.0
	389	90.0	190.0						
Es7	388	90.3	191.0	388.0	90.4	191.2	2.0	-0.4	-1.2
	388	90.4	191.4						
Es8	389	90.0	190.7	389.0	90.1	190.7	1.0	-0.1	-0.7
	389	90.1	190.6						
Es9	390	90.5	191.2	390.0	90.5	191.2	0.0	-0.5	-1.2
	390	90.4	191.1						
Es10	388	90.4	190.3	388.0	90.4	190.4	2.0	-0.4	-0.4
	388	90.3	190.5						
							1.1	-0.4	-0.7

Contenido de humedad del bloque de concreto ligero

Espécimen	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso saturado (g)	Humedad (%)
M1	10690.0	9800.7	11511.0	52.00
M2	10283.2	9381.0	11091.3	52.75
M3	10512.2	9573.7	11284.0	54.87

Absorción, densidad y contenido de vacíos del bloque de concreto ligero

A: Masa seca al horno, g

B: Masa en el aire después de la inmersión, g

C: Masa en el aire después de la inmersión y ebullición, g

D: Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g.

Espécimen	A	B	C	D	Absorción (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
M1	1953.2	2221.6	2604.0	1195.0	261.45	1.39	46.19
M2	1962.9	2221.9	2597.2	1186.7	250.19	1.39	44.97
M3	2163.9	2454.4	2884.3	1327.3	257.74	1.39	46.27
					256.46	1.39	45.81

Resistencia a la compresión de pilas de bloque de concreto ligero (diseño C1)

Espécimen	L (cm)	e (cm)	Carga (kg)	hp/tp	F _c	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esf. Prom (kg/cm ²)
Pila1	38.8	9.01	17100	4.33	1.17	57.38	56.80
Pila2	38.7	9.03	16400	4.32	1.17	55.02	
Pila3	38.8	9.18	17700	4.25	1.17	58.01	

Resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloque de concreto ligero (diseño C1)

Espécimen	L (cm)	h (cm)	t (cm)	Ab (cm ²)	Carga (kg)	Componente de carga (kg/cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esf. Prom (kg/cm ²)
Murete1	59.8	59.9	9.0	538.65	4800	3394.11	6.30	6.25
Murete2	59.8	60.1	9.0	539.55	4900	3464.82	6.42	
Murete3	59.9	59.8	9.0	538.65	4600	3252.69	6.04	

PANEL FOTOGRÁFICO



Cuarteo del agregado para ensayo de granulometría.



Cuarteo del agregado para ensayo de granulometría.



Ensayo de Peso Específico del agregado fino.



Ensayo de Peso Específico del agregado fino.



Molde para cubo de concreto ligero de 10cm de lado.



Cubos de concreto ligero de 10cm de lado



Curado de los cubos de concreto ligero de 10cm de lado.



Medición de las dimensiones de los cubos de concreto ligero.



Ensayo de resistencia a la compresión de cubos de concreto ligero de 10cm.



Plano de falla después del ensayo del cubo de concreto ligero.



Proceso de ensayo de fluidez del mortero de albañilería.



Fluidez del mortero de albañilería.



Llenado del mortero de albañilería en moldes cúbicos de 5cm.



Ensayo a la compresión de cubos de mortero de albañilería.



Mezclado de los materiales para concreto ligero.



Ensayo de la trabajabilidad del concreto ligero.



Ensayo de la fluidez del concreto ligero.



Ensayo del tiempo de fragua del concreto ligero.



Ensayo de exudación del concreto ligero.



Llenado del concreto ligero en moldes para bloques de concreto ligero



Bloque de concreto ligero (después del desencofrado).



Proceso de curado del bloque de concreto ligero.



Almacenamiento de los bloques de concreto ligero.



Ensayo de resistencia a la compresión de bloque de concreto ligero.



Elaboración de las pilas de bloque de concreto ligero.



Ensayo de resistencia a la compresión de pilas de bloques de concreto ligero.



Ensayo de resistencia a la compresión de pilas (carga de falla).



Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes.



Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes (carga de falla).

HOJA TÉCNICA

Sika® Lightcrete PE

Aditivo espumante-cohesionador líquido para mezclas cementicias

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Lightcrete PE es un líquido que actúa como agente espumante concentrado para elaborar mezclas cohesivas y livianas ya sea de concreto, mortero, rellenos hidráulicos, etc.; entre 800 y 1,800 kg/m³, según la dosificación utilizada y tipos de agregados empleados.

No contiene cloruros.

USOS

Para uso en rellenos

- Para rellenos hidráulicos cuando las mezclas se segregan o tienen exudación excesiva, cuando los agregados son de granulometría abierta (deficiencia de finos).
- Para morteros de nivelación o afinado de pisos de bajo peso previos a la colocación del acabado final.
- Relleno de zanjas y excavaciones en minas o en obras civiles, rellenos fluidos de densidad y resistencia controlada sin usar compactadores.
- Relleno de tuberías y tanques de almacenamiento de combustibles enterrados que estén fuera de uso.
- Como capas de soporte de bajo tráfico y áreas deportivas sobre suelos con baja capacidad portante

Concretos o morteros con fines estructurales

- Elaboración de elementos prefabricados de bajo peso.
- Estructuras de bajo peso vaciadas in situ con el fin de llevar a cabo ampliaciones.
- Revestimiento de estructuras de acero.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Muy fácil dosificación y no requiere equipo adicional para generar espuma.
- Baja densidad, en función a la dosificación usada.
- Gran estabilidad de la espuma.
- Inclusión de aire hasta un 40% del volumen de la mezcla.

- Fácil colocación, mezclado y transporte en obra por su bajo peso.
- Menor presión sobre el encofrado.
- Como consecuencia del alto porcentaje de vacíos que incluye permite ofrecer un importante aislamiento térmico y acústico.
- Resistencia a la compresión en función a la densidad, la cual puede ser incrementada con el uso de aditivos superplastificantes Sikament y Viscocrete.

DATOS BÁSICOS

FORMA	ASPECTO Líquido COLOR Transparente, tonalidad amarilla PRESENTACIÓN Cilindro x 200 L
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL 1 año bajo techo en su envase original cerrado a temperaturas entre 5 °C y 30°C.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1,01 kg/L ± 0,01

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO Se recomienda utilizar dosis de 0.5 kg. a 4 kg por metro cúbico de mezcla. Adicionar el aditivo con la última parte del agua de la mezcla y agitar vigorosamente unos 10 minutos, asegurándose de obtener una mezcla vigorosa, puede emplearse menor tiempo de mezclado realizando ensayos previos y dependiendo del tipo de mezclador. Transporte y colocación. La mezcla que se obtiene generalmente es muy fluida, esto facilita el transporte, el bombeo, la colocación y el acabado del mismo.
MÉTODO DE APLICACIÓN	CONSIDERACIONES GENERALES La mezcla puede ser bombeada sin problemas mediante bombas convencionales. Para altos volúmenes de colocación, puede ser necesario prever un incremento de 100 a 200 kg/m ³ en su densidad. El contenido de espuma incorporada y el grado de cohesión en las mezclas depende de la temperatura ambiente, de la mezcla, los agregados, velocidad y tiempo de mezclado, cantidad de cemento, etc.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIÓN DURANTE LA MANIPULACIÓN

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe

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. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. 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 Nº 2
la misma que deberá ser destruida”**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Lightcrete PE :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro industrial "Las Praderas
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,
Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
Sika® Lightcrete PE
27.11.14, Edición 3

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



Hoja de Seguridad

según Directiva 91/155/EEC y Norma ISO 11014-1
(ver instrucciones en Anexo de 93/112/EC)

Construcción

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Identificación del producto

Nombre comercial:

Sika® Lightcrete PE

Usos recomendados:

Agente espumante líquido para concreto liviano.

Información del Fabricante / Distribuidor

Fabricante / Distribuidor	Sika Perú S.A.
Dirección	Centro Industrial "Las Praderas de Lurín" S/N Mz. "B" Lote 5 y 6
Código postal y ciudad	Lima 16 – Lurín
País	Perú
Número de teléfono	(51 1) 618 -6060
Telefax	(51 1) 618-6070

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Descripción Química

Mezcla acuosa de surfactante sintético

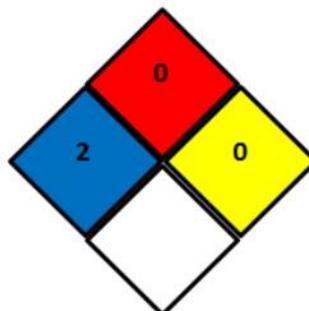
Componentes Peligrosos

Designación según Directiva 67/548/EEC

Número CAS	Concentración	Símbolo de Peligro	Frases R
Acido Sulfónico - Sal de sodio 68439-57-6	2.5 - 10 %	Xi	36/38
Amidas, coco, N,N-bis(hidroxi)etil 68603-42-9	1 - 2.5 %	Xi	36/38

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Identificación de Riesgos de Materiales según NFPA



Salud: 2

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 0

Construcción

4. PRIMEROS AUXILIOS

Instrucciones Generales

Facilitar siempre al médico la hoja de seguridad.

En caso de inhalación

Procurar aire fresco

Si se sienten molestias, acudir al médico

En caso de contacto con la piel

Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón.

Quitar inmediatamente la ropa empapada o manchada, no dejar secar.

Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.

En caso de contacto con los ojos

Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos.

Tratamiento médico necesario.

En caso de ingestión

No provocar el vómito

Requerir inmediatamente ayuda médica

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados

Elegir los medios de extinción según el incendio rodeante.

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad

Chorro de agua

Riesgos específicos que resultan de la exposición a la sustancia, sus productos de combustión y gases producidos

En caso de incendio puede(n) desprenderse:

Oxidos de nitrógeno (NOx)

Monóxido de carbono (CO)

Dióxido de carbono (CO₂)

Trióxido de azufre (SO₃)

Equipo de protección para el personal de lucha contra incendios

Usar equipo respiratorio autónomo

Indicaciones adicionales

El producto no arde por si mismo

Refrigerar con agua pulverizada los recipientes en peligro.

Elegir los medios de extinción según el incendio rodeante.

Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales

Procurar ventilación suficiente.

Llevar ropa de protección personal.

Medidas de protección del medio ambiente

- En caso de penetración en cursos de agua, el suelo o los desagües, avisar a las autoridades competentes.

Métodos de limpieza

- Recoger con materiales absorbentes adecuados.
- Tratar el material recogido según se indica en el apartado "eliminación de residuos".
- Eliminar los residuos con agua.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Indicaciones para manipulación sin peligro

Ver capítulo 8 / Equipo de protección personal

Indicaciones para la protección contra incendios y explosión

No aplicable.

Almacenamiento

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes

- Mantener los recipientes herméticamente cerrados y guardarlos en un sitio fresco y bien ventilado.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto

- 1 Manténgalo alejado de alimentos, bebidas y comida para animales.

Información adicional relativa al almacenamiento

- 1 Proteger de las heladas
- 1 Proteger de temperaturas elevadas y de los rayos solares directos.

8. LÍMITES DE EXPOSICIÓN Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección personal

Medidas generales de protección e higiene

- No respirar los vapores.
- Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo.
- No fumar, ni comer o beber durante el trabajo.
- Lavarse las manos antes de los descansos y después del trabajo.
- Protección preventiva de la piel con pomada protectora.
- Quitarse inmediatamente la ropa manchada o empapada.

Protección respiratoria

N.A.

Protección de las manos

- Guantes de caucho.

Protección de los ojos

- Gafas protectoras.

Protección corporal

- Ropa de trabajo.



9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto

Estado Físico	Líquido
Color	Amarillento
Olor	Suave

Datos significativos para la seguridad

Punto de ebullición	>100°C
Punto de Inflamación	> 101°C
Presión de Vapor a 20°C	> 1 hPa
Densidad a 20°C	1.0 g/cm ³
Solubilidad en agua a 20°C	El producto es soluble
pH a 20°C (c indefinida)	9 - 12

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Condiciones que deben evitarse

No se conocen

Materias que deben evitarse / Reacciones peligrosas

Oxidantes.

Descomposición Térmica y Productos de descomposición peligrosos

Descomposición térmica a > 100°C:

Productos de descomposición determinantes del peligro:

- Óxidos de azufre (SOx)
- Óxidos de nitrógeno (NOx)
- Monóxido de carbono y dióxido de carbono

11. INFORMACIONES TOXICOLÓGICAS

Sensibilización

Pueden observarse reacciones alérgicas en personas sensibles.
Lo mismo es también válido bajo el límite de exposición fijado.

Experiencia sobre personas

Contacto con la piel

- Puede causar irritación

Contacto con los ojos

- Irritación

Inhalación

- Puede causar irritación

Ingestión

- Una pequeña cantidad puede causar perturbaciones considerables en la salud.

12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS

Indicaciones adicionales

- El producto es contaminante del agua.
- Debido al alto pH puede poner en peligro los organismos acuático.
- No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.

13. ELIMINACIÓN DE RESIDUOS

Producto

- Recoger residuos con material absorbente.
- Incinerar directamente o después de evaporar el agua, en hornos o plantas de combustión aprobadas por las autoridades locales.
- Observadas las normas en vigor, puede ser tratado en un centro de eliminación de residuos industriales.

Envases/embalajes / Recomendaciones

- Envases totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje, los que no pueden ser limpiados, disponer como el producto contenido.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

ADR / RID

Información Complementaria

Mercancía no regulada

IMO / IMDG

Información Complementaria

Mercancía no regulada

IATA / ICAO

Información Complementaria

Mercancía no regulada

15. DISPOSICIONES DE CARÁCTER LEGAL

Etiquetado según 88/379/EEC

Según Directivas CE y la legislación nacional correspondiente, el producto no requiere etiqueta.

16. OTRAS INFORMACIONES

Definición de abreviaturas:

CAS:	Chemical Abstract Number
NA:	No aplica
ND:	No disponible
ONU:	Organización de Naciones Unidas
ADR:	Acuerdo Europeo concerniente a la carga de materiales peligrosos por carretera.
RID:	Acuerdo Europeo Concerniente a la carga de materiales peligrosos por ferrocarril.
IMO:	Organización Marítima Internacional
IATA:	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
ICAO:	Organización Internacional de Aviación Civil.

En caso de emergencia consultar a Aló EsSalud

Teléfono: 472-2300 ó 0801-10200

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N°3
la misma que deberá ser destruida”**

Advertencia:

La información contenida en esta Hoja de Seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicarán nuestras Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Por favor, consulte la Hoja Técnica del producto antes de su utilización. Los usuarios deben remitirse a la última edición de las Hojas de Seguridad 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

Aprobado por: GMS