UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de aplicación del método de auto-curado adicionando ladrillo
triturado al agregado grueso para disminuir las fisuras superficiales y
aumentar la resistencia a la compresión del concreto en zonas cálidas (Lima
Norte)

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Pinchi Morey, Sanddy Rocío (0000-0002-0961-3087)

Ramírez Mejía, Hosvick Jeffer (0000-0001-8107-5255)

ASESOR

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, 17 de febrero de 2020

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres por su esfuerzo y apoyo en mis años de estudiante, a mis hermanos por siempre estar conmigo. Para mi familia y los que estuvieron a mi lado hoy y siempre.

S.R.P.M

.

Dedicado a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por confiar y creer en mis expectativas. Gracias a mis hermanas por siempre anhelar lo mejor para mí. Gracias a la vida y a todas las personas que me apoyaron en este nuevo triunfo.

H.J.R.M

AGRADECIMIENTOS

Retribuimos nuestro agradecimiento a nuestras familias y el apoyo incondicional que nos dieron durante todo este tiempo y sin los cuales no hubiera sido posible realizar nuestra tesis.

También agradecemos a nuestros maestros, que con su conocimiento y apoyo nos motivaron a desarrollarnos como profesionales en la universidad.

RESUMEN

El concreto es uno de los materiales más utilizados en el mundo de la construcción, de las cuales cada material en la mezcla depende de la resistencia que se requiera de acuerdo al análisis estructural. Dentro del proceso de producción de concreto debemos garantizar que el cemento reaccione químicamente y desarrolle la resistencia para la cual fue diseñada, para esto es importante mantenerlo hidratado en ese tiempo mediante el proceso de curado. Una técnica aún no tan conocida es el auto-curado del concreto, por lo cual es una necesidad saber cuál es su influencia en el desarrollo de la resistencia y en la disminución del porcentaje de agrietamiento del concreto en estado plástico.

El objetivo de esta tesis es determinar la influencia que tiene el reemplazar un cierto porcentaje de ladrillo triturado como reemplazo del agregado grueso; evaluando la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y el agrietamiento por contracción plástica del concreto. Se desarrolló con 3 diferentes porcentajes de reemplazo de ladrillo triturado que son: 15%, 21%, 27% del peso del agregado grueso para la resistencia a la compresión (f'_c) de 280 kg/cm².

Se concluyó que reemplazo del agregado grueso por ladrillo triturado es efectivo cuando es usado hasta un máximo de 21%. Los resultados obtenidos son óptimos y viables en el tiempo, mostrándonos un aumento en la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y la disminución del porcentaje de fisuras en estado plástico.

Palabras clave: Ladrillo triturado, fisuras, contracción plástica, resistencia a la compresión

Proposal for the application of the self-curing method by adding crushed brick to the coarse aggregate to reduce surface cracks and increase the compressive strength of concrete in warm areas (North Lima)

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in the world of construction, of which each material in the mixture depends on the strength required according to the structural analysis. Within the concrete production process, we must ensure that the cement reacts chemically and develops the resistance for which it was designed, for this it is important to keep it hydrated at that time through the curing process. A technique not yet so well known is the self-curing of concrete, so it is a necessity to know what its influence is in the development of resistance and in the reduction of the percentage of cracking of concrete in the plastic state.

The objective of this thesis is to determine the influence of replacing a certain percentage of crushed brick as a replacement for coarse aggregate; evaluating the compressive strength, flexural strength, and cracking by plastic shrinkage of concrete. It was developed with 3 different percentages of crushed brick replacement that are: 15%, 21%, 27% of the weight of the coarse aggregate for the compressive strength (f'_c) of 280 kg / cm².

It was concluded that replacement of coarse aggregate with crushed brick is effective when used up to a maximum of 21%. The results obtained are optimal and viable over time, showing an increase in compressive strength, flexural strength and a decrease in the percentage of cracks in the plastic state.

Keywords: Crushed brick, cracks, plastic shrinkage, compressive strength

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCION.....	13
1.1	ANTECEDENTES	13
1.2	REALIDAD PROBLEMÁTICA	24
1.3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.4	HIPÓTESIS.....	26
1.5	OBJETIVO GENERAL	27
1.6	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
1.7	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	27
2	MARCO TEÓRICO.....	28
2.1	BASES TEÓRICAS	28
2.1.1	El concreto.....	28
2.1.2	Concreto auto-curado	29
2.1.2.1	Principio básico	29
2.1.2.2	Beneficios del concreto auto-curado	30
2.2	MATERIALES PARA EL CONCRETO.....	30
2.2.1	Cemento.....	30
2.2.1.1	Composición química del cemento	30
2.2.1.2	Fases minerales del cemento	31
2.2.1.3	La relación agua/cemento (a/c).....	32
2.2.1.4	Tipos de cemento.....	33
2.2.1.5	El cemento en el Perú	33
2.2.2	Agua	34
2.2.3	Agregados.....	34
2.2.3.1	Clasificación de los agregados	35
2.2.3.1.1	Agregado fino	36
2.2.3.1.2	Agregado grueso.....	36
2.3	CURADO DEL CONCRETO	36
2.3.1	Tipos de Curado del Concreto	37
2.4	DISEÑO DE MEZCLA	38
2.5	PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO	41

2.5.1	Propiedades del concreto fresco	41
2.5.1.1	Propiedades del concreto fresco a edad temprana	42
2.5.2	Propiedades del concreto endurecido	46
2.5.2.1	Ensayos para evaluar la resistencia del concreto	47
2.6	FISURACIÓN DEL CONCRETO	50
2.6.1	Fisuración del concreto en estado plástico	50
2.6.2	Fisuración del concreto endurecido	51
2.7	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	51
3	MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1	MATERIAL	52
3.1.1	Población	53
3.1.2	Muestra	53
3.2	MÉTODO	53
3.2.1	Nivel de investigación	53
3.2.2	Diseño de investigación	53
3.2.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	53
3.2.4	Ensayos no destructivos para análisis de fisuras	60
3.2.4.1	Inspección visual	60
3.2.4.2	Líquidos penetrantes	61
3.2.4.3	Método de prueba estándar para evaluar el agrietamiento por contracción plástica ASTM C1579.	62
3.2.5	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	63
4	RESULTADOS	64
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	64
4.1.1	Características físicas del agregado fino	64
4.1.2	Características físicas del agregado grueso	64
4.1.3	Características físicas del ladrillo	65
4.2	DISEÑO DE MEZCLA	65
4.3	ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO POR M ³ DE CONCRETO	68
4.4	PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	68
4.5	PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	69
4.5.1	Resistencia a la compresión	69

4.5.2	Resistencia a la flexión	72
4.5.3	Módulo de elasticidad.....	72
4.6	SLUMP VS TEMPERATURA.....	73
4.6.1	Análisis slump vs temperatura: Control $f'c$ 280 kg/cm ²	73
4.6.2	Análisis slump vs temperatura: 21% ladrillo triturado $f'c$ 280 kg/cm ²	74
4.7	CONTRACCIÓN PLÁSTICA ASTM C1579	74
5	ANÁLISIS DE DATOS.....	76
5.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS.....	76
5.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 21 DÍAS.....	79
5.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.....	81
6	CONCLUSIONES	83
7	RECOMENDACIONES	84
8	REFERENCIAS	85
9	ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del concreto endurecido con auto-curado	14
Tabla 2 Detalles de diferentes condiciones de curado.....	17
Tabla 3 Aumento porcentual de la fuerza debido a curación a comparación de control de muestras bajo curado normal.....	20
Tabla 4 Denuncias por fisuración en Lima Top	26
Tabla 5 Limites de composición química aproximada para cemento portland	31
Tabla 6 Compuestos principales del cemento portland	31
Tabla 7 Tipos y clases de cemento por empresas	33
Tabla 8 Tolerancia permisible de tiempo de ensayo	49
Tabla 9 Rango aceptable en fuerza individual de cilindros.....	50
Tabla 10 Cantidad de muestra mínima	55
Tabla 11 Cantidad de muestra mínima para el ensayo	55
Tabla 12 Cantidad de muestra mínima para el ensayo	56
Tabla 13 Recipiente a usar (pie3).....	57
Tabla 14 Peso mínimo de agregado grueso	59
Tabla 15 Resumen de las propiedades físicas del agregado fino.	64
Tabla 16 Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso	64
Tabla 17 Resumen de las propiedades físicas del ladrillo	65
Tabla 18 Agua en kg/m ³ de concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia.....	66
Tabla 19 Propiedades del concreto en estado fresco	68
Tabla 20 Propiedades del concreto en estado fresco	69
Tabla 21 Propiedades del concreto en estado endurecido de los Diseños 1; 2; 3; 4 a los 7, 21 y 28 días de prueba	69
Tabla 22 Propiedades del concreto con un porcentaje de reemplazo parcial de ladrillo triturado a los 7, 21 y 28 días de prueba:.....	70
Tabla 23 Slump vs Temperatura Diseño control $f'c$ 280 kg/cm ²	73
Tabla 24 Slump vs temperatura: 21% ladrillo triturado $f'c$ 280 kg/cm ²	74
Tabla 25 Criterios de aceptación de norma ASTM C1579	74
Tabla 26 Fisuras en el tiempo Diseño control y 21% ladrillo triturado	75

Tabla 27 Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días	77
Tabla 28 Media de la resistencia a la compresión del concreto a 7 días	77
Tabla 29 Agrupación de las medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días, con el método de TUKEY y una confianza de 95%	77
Tabla 30 Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días	79
Tabla 31 Media de la resistencia a la compresión del concreto a 21 días	80
Tabla 32 Agrupación de las medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días, con el método de TUKEY y una confianza de 95%	80
Tabla 33 Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días	82
Tabla 34 Media de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días	82
Tabla 35 Agrupación de las medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días, con el método de TUKEY y una confianza de 95%	82
Tabla 36 Análisis granulométrico del agregado fino. Primer ensayo.....	88
Tabla 37 Análisis granulométrico del agregado fino. Segundo ensayo.	89
Tabla 38 Análisis granulométrico del agregado fino. Tercer ensayo.	90
Tabla 39 Análisis granulométrico del agregado grueso. Primer ensayo.	91
Tabla 40 Análisis granulométrico del agregado grueso. Segundo ensayo	92
Tabla 41 Análisis granulométrico del agregado grueso. Tercer ensayo.....	93
Tabla 42 Análisis granulométrico del ladrillo. Primer ensayo	95
Tabla 43 Peso específico y absorción del agregado fino.....	96
Tabla 44 Peso específico y absorción del agregado grueso.....	97
Tabla 45 Peso específico y absorción del ladrillo	98
Tabla 46 Peso unitario suelto del agregado fino	99
Tabla 47 Peso unitario compactado del agregado fino.....	100
Tabla 48 Peso unitario suelto del agregado grueso	100
Tabla 49 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	101
Tabla 50 Peso unitario suelto del ladrillo	101
Tabla 51 Peso unitario compactado del ladrillo	102
Tabla 52 Contenido de humedad del agregado	102
Tabla 53 Contenido de humedad del agregado grueso.....	102

Tabla 54	Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 1 (Control)	103
Tabla 55	Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 2 (15% ladrillo)	103
Tabla 56	Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 3 (21% ladrillo)	103
Tabla 57	Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 4 (27% ladrillo)	103
Tabla 58	Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 1 (Control)	104
Tabla 59	Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 2 (15% ladrillo) ..	104
Tabla 60	Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 3 (21% ladrillo) ..	104
Tabla 61	Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 4 (27% ladrillo) ..	104
Tabla 62	Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 1 (Control)	105
Tabla 63	Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 2 (15% ladrillo) ..	105
Tabla 64	Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 3 (21% ladrillo) ..	105
Tabla 65	Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 4 (27% ladrillo) ..	105
Tabla 66	Ensayo de resistencia a la flexión a 28 días de Diseño Control	106
Tabla 67	Ensayo de resistencia a la flexión a 28 días de Diseño Optimo (21% de ladrillo)	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Agregados (a) fragmento de piedra (b) arena (c) agregado de astillas y mampostería (MCA).....	15
Figura 2 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones ILWP y muestras de control tanto en ILWP como en NC con respecto a la relación w/c.....	21
Figura 3 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones ILWOP y muestras de control tanto en ILWOP como en NC con respecto a la relación w / c.....	21
Figura 4 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones OLWP y muestras de control tanto en OLWP como en NC con respecto a la relación w / c	22
Figura 5 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones OLWOP y muestras de control tanto en OLWOP como en NC con respecto a la relación w / c	22
Figura 6 Valoración de la permeabilidad al agua con respecto al porcentaje de reemplazo para muestras curadas internamente y de control en condiciones de curado	22
Figura 7 Construcciones formales e informales en Lima	24
Figura 8 Resoluciones por fisuración	25
Figura 9 Clasificación de Lima y Callao	25
Figura 10 Resoluciones por Fisuras en Lima Top.....	26
Figura 11 Diferencia del curado interno con el curado externo	29
Figura 12 Comparación entre resistencia y relación agua/cemento del concreto.....	33
Figura 13 Límites especificados en ASTM C 33 para agregado fino y para (tamaño de clasificación) del agregado grueso.	35
Figura 14 Rango de tamaños de partículas encontrados en agregados para su uso.....	35
Figura 15 Demanda de agua	43
Figura 16 Esquema de patrones de los tipos de rotura	50
Figura 17 Típica fisuración por retracción plástica	51
Figura 18 Promedio de temperatura normal	53
Figura 19 Estados de la humedad del agregado	59
Figura 20 Comparador para medir anchos de fisuras	60
Figura 21 Funcionamiento de un líquido penetrante	61
Figura 22 Geometría de elevador de tensión y restricción interna	63

Figura 23 Gráfico comparativo de resistencia máxima del ensayo a compresión del concreto con diferentes porcentajes de ladrillo triturado vs. tiempo	70
Figura 24 Grafico comparativo de la resistencia a la compresión de acuerdo al porcentaje de ladrillo triturado vs Resistencia.	71
Figura 25 Grafico comparativo del comportamiento de la resistencia a la compresión en el tiempo entre la mezcla optima (21%) y la mezcla de control	71
Figura 26 Grafico comparativo de la resistencia a la flexión del concreto a los 28 días. ...	72
Figura 27 Grafico de módulo de elasticidad vs mezcla.....	72
Figura 28 Slump vs Temperatura Control $f'c280 \text{ kg/cm}^2$	73
Figura 29 Slump vs temperatura: 21% ladrillo triturado $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$	74
Figura 30 Fisuras en el tiempo Diseño control vs 21%Ladrillo triturado $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$..	75
Figura 31 CRR en el tiempo	76
Figura 32 Grafica de intervalos para agrupación de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	78
Figura 33 Grafica de valores individuales de la resistencia a la compresión a los 7 días ...	78
Figura 34 Grafica de intervalos para agrupación de la resistencia a la compresión a los 21 días.....	80
Figura 35 Grafica de valores individuales de la resistencia a la compresión a los 21 días .	81
Figura 36 Gráfica de intervalos para agrupación de la resistencia a la compresión a los 28 días.....	83
Figura 37 Granulometría del agregado fino según la ASTM C-136	88
Figura 38 Granulometría del agregado fino según la ASTM C-136	89
Figura 39 Granulometría del agregado fino según la ASTM C-136	90
Figura 40 Granulometría del agregado grueso con el HUSO 67 segun la ASTM C-136 ...	92
Figura 41 Granulometría del agregado grueso con el HUSO 67 según la ASTM C-136 ...	93
Figura 42 Granulometría del agregado grueso con el HUSO # según la ASTM C-136	94
Figura 43 Granulometría del agregado grueso según la ASTM C-136.....	95

1 INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

En los últimos años se han realizado estudios sobre el concreto auto-curado, en las cuales se resalta su importancia para garantizar la resistencia y durabilidad de las estructuras, donde también se busca adoptar el curado interno para mejorar la calidad del concreto. Dado esto, los antecedentes teóricos más relevantes para esta investigación fueron cuatro que se realizaron en el plano internacional.

El primer estudio, se realizó en la India, el año 2016, se denominó “Self compacting self curing concrete with lightweight aggregates” por Gopi Rajamanickam y Revathi Vaiyapuri (Rajamanickam & Vaiyapuri, 2016), quienes describen como se lleva a cabo la técnica. Para desarrollar la parte experimental del trabajo de investigación. La leca se seca en estufa a 105°C durante 24 h, se enfría por aire y después es sumergida en agua durante 24 h antes de utilizarla para la mezcla. Todos los componentes secos se colocan en el mezclador y se combinan en un tiempo de 2 min aproximadamente para asegurar la uniformidad de la mezcla, incluido el humo de sílice. La mitad del agua de mezcla se añade gradualmente durante el mezclado y se sigue con el agua restante con superplastificante. Finalmente, se añade los agentes de auto-curado polietilenglicol y leca durante el mezclado (Mousa, Mahdy, Abdel-Reheem, & Yehia, 2015).

En campo, la resistencia a la compresión temprana del concreto incorporado por leca es significativamente menor a los 7 días que la del hormigón de control, hormigón tradicional sin ningún agente de auto-curado. Sin embargo, se registra una notable mejora en la resistencia a la compresión a los 28 días. La resistencia a la compresión mejora bajo el auto-curado con un aumento en el contenido de leca de hasta el 15%. Más allá del 15% del contenido de leca, la resistencia a la compresión se reduce, lo que es probable debido a la naturaleza más débil o las características de absorción de agua muy pronunciadas del agregado leca. Para un concreto con 15% de leca, la resistencia a la compresión bajo el auto-curado es 1,84% mayor que la del hormigón de control. Esto se debe a la presencia de un contenido de humedad adecuado en el agregado leca contenido dentro del concreto. El agregado leca permite que el contenido de humedad se mueva de dentro hacia fuera para completar el proceso de hidratación en concreto (A & Sivaraja, 2016).

Tabla 1 Propiedades del concreto endurecido con auto-curado

Mix ID	Age at testing	Compressive strength [MPa]			Split tensile strength [MPa]			Flexural strength [MPa]			Modulus of elasticity [GPa]		
		mean	SD	COV	mean	SD	COV	mean	SD	COV	mean	SD	COV
	7	38.00	0.49	1.28	2.96	0.04	1.47	5.65	0.07	1.28	29.30	0.49	1.66
CMwc	28	44.10	0.72	1.64	3.98	0.08	2.06	6.63	0.07	0.99	34.20	0.46	1.33
	7	35.56	0.61	1.72	1.85	0.03	1.43	5.04	0.04	0.79	27.00	0.38	1.41
CM rt	28	41.25	0.64	1.54	2.31	0.06	2.70	5.52	0.11	1.91	31.80	0.36	1.12
	7	27.46	0.59	2.13	1.87	0.02	1.07	5.26	0.04	0.83	25.82	0.23	0.89
L5	28	37.79	0.41	1.09	3.37	0.09	2.59	5.77	0.11	1.83	32.20	0.35	1.10
	7	28.33	0.59	2.10	1.91	0.01	0.52	5.39	0.05	0.85	26.00	0.59	2.26
L10	28	43.60	0.78	1.80	3.97	0.09	2.27	6.52	0.11	1.71	33.50	0.55	1.63
	7	29.16	0.95	3.24	1.92	0.02	1.04	5.74	0.04	0.76	27.75	0.33	1.18
L15	28	44.93	0.95	2.11	4.32	0.09	1.98	7.58	0.16	2.16	34.72	0.31	0.90
	7	26.13	0.88	3.37	1.72	0.04	2.10	5.28	0.06	1.18	26.40	0.25	0.94
L20	28	41.03	0.65	1.57	3.34	0.07	2.16	7.20	0.07	0.97	32.90	0.69	2.09
	7	25.98	0.18	0.71	1.68	0.07	3.90	5.12	0.09	1.79	24.93	0.70	2.81
L25	28	39.30	0.63	1.61	3.14	0.03	0.84	7.15	0.04	0.56	31.70	0.46	1.45
	7	28.50	0.39	1.38	1.92	0.03	1.38	5.55	0.11	1.95	25.83	1.29	4.98
F5	28	43.90	0.23	0.52	3.41	0.13	3.74	6.02	0.10	1.73	33.90	0.85	2.51
	7	32.06	0.29	0.90	2.12	0.03	1.25	5.67	0.16	2.74	26.76	0.71	2.64
F10	28	44.26	0.80	1.80	3.65	0.07	1.80	6.65	0.22	3.31	35.21	0.62	1.77
	7	34.40	0.27	0.78	2.89	0.05	1.83	5.83	0.10	1.79	28.22	0.32	1.13
F15	28	50.90	0.38	0.75	4.42	0.03	0.68	7.87	0.14	1.75	38.87	0.41	1.06
	7	34.36	0.45	1.31	2.60	0.03	1.02	5.30	0.04	0.82	26.75	0.18	0.66
F20	28	50.00	0.18	0.36	3.98	0.03	0.66	7.33	0.02	0.27	38.51	0.56	1.47
	7	33.87	0.94	2.79	2.57	0.03	1.03	5.24	0.06	1.19	25.66	0.46	1.77
F25	28	49.12	0.95	1.93	3.49	0.05	1.29	7.05	0.12	1.74	37.43	0.19	0.50

Fuente: Građevinar

La reducción en la resistencia a la compresión de CMrt (concreto de control sin curar o con curado a temperatura ambiente) es de aproximadamente 6,46% en comparación con la mezcla de CMwc (concreto con leca) a los 28 días. Se deduce que para una baja relación concreto/curado, el concreto sin curado de agua no tiene agua suficiente para la hidratación y, por lo tanto, la resistencia del hormigón se reduce.

En otro ensayo, el uso de 10% de leca y agregados de vermiculita en la mezcla individual muestra un mejor rendimiento a una tasa de 13,27% y 4,13% que 5% de sustitución. En comparación con la mezcla de control, la reducción en el porcentaje de flujo para leca y agregados de vermiculita fue de 18.71% y 2.8% para 5% y 10% de sustitución de leca. Por lo tanto, la incorporación de leca y la vermiculita como agregado de peso ligero (LWA) hasta el 10%, tiene efectos positivos sobre los valores de trabajabilidad (Benz & Snyder, 1999).

Las propiedades de auto-curado aparte de contribuir en las propiedades mismas de curado, brindan propiedades de trabajabilidad y propiedades mecánicas en las mezclas de concreto.

Se realizó otro estudio en Bangladesh el año 2017, titulado “Optimum Proportion of Masonry Chip Aggregate for Internally Cured Concrete” llevado a cabo por Shohana Iffat, Tanvir Manzur, Sayedur Rahman, Munaz Ahmed Noor and Nur Yazdani (Iffat, Tanvir, Sayedur, Ahmed, & Nur, 2017)

Para el desarrollo de los ensayos se usaron de piedra triturada como agregado primario y MCA agregado de reemplazo como agente de curado interno. (Figura 1).

Figura 1 Agregados (a) fragmento de piedra (b) arena (c) agregado de astillas y mampostería (MCA)

Fuente: International Journal of Concrete Structures and Materials

Para las pruebas de absorción y desorción se realizaron siguiendo ASTM C1761 (2012). Se hace un reemplazo parcial del agregado fino de la mezcla de concreto por arcilla de mampostería, los cuales previamente fueron saturados. Los autores proponen un porcentaje tentativo para la sustitución de este agente de auto-curado para producir un concreto óptimo y con las características físicas y mecánicas adecuadas. Para el desarrollo del estudio se realizaron 30 experimentos en total, de los cuales, con cinco humedades relativas (RH) diferentes de 60, 73, 77, 85 y 90% y seis temperaturas diferentes de 14.5, 18, 24, 28, 31 y 34 ° C. Las muestras de MCA se pesaron y se saturaron, el MCA llegó a absorber 28.6% de agua en términos de peso seco en el horno. Estas muestras se colocaron en un deshumidificador a distintas temperaturas y diferentes humedades relativas, se controló la pérdida de agua después de 30 minutos.

Los experimentos se realizaron en dos fases. Para la primera fase del experimento, se usaron tres relaciones diferentes de agua a cemento (w / c) de 0.4, 0.45 y 0.5. La prueba de resistencia a la compresión, la prueba del módulo de elasticidad y la RCPT (prueba de permeabilidad al cloruro rápido) se realizaron en esta fase. Se usó piedra triturada degradada de 20 mm de tamaño como agregado grueso primario. Nueve mezclas con tres reemplazos parciales diferentes (10, 20 y 30%) de fragmentos de piedra convencionales con MCA para cada relación w / c se prepararon usando la proporción de mezcla de 1: 1,5: 2,3. El MCA se convirtió en una superficie saturada seca (SSD) antes de la mezcla. Al principio, MCA se mantuvieron totalmente sumergidos en agua durante aproximadamente 24 h. Luego, la superficie de MCA se limpió adecuadamente con un paño y toda el agua superficial se eliminó para garantizar la condición SSD. Las muestras de control con fragmentos de piedra convencionales como agregado grueso también se hicieron usando las mismas proporciones de mezcla y tres relaciones w / c diferentes. Para cada edad de prueba, se prepararon tres muestras réplicas idénticas.

En la segunda fase, solo se seleccionó una relación w / c (0,4) que produjo el concreto mejor curado internamente en términos de resistencia a la compresión, módulo elástico y permeabilidad al cloruro en la primera fase. Se utilizaron tres sustituciones porcentuales diferentes (15, 20 y 25%) de fragmentos de piedra con MCA para encontrar resultados más precisos. El diseño de la mezcla, la HR y la temperatura durante la colada y el curado se mantuvieron idénticos a la Fase 1. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y de resistencia a la tracción por división en esta fase. Además, se investigó la humedad relativa interna (HR) de las muestras de control y las curadas internamente.

En el caso de las muestras de control se hicieron diferentes condiciones de curado, y para asegurar el curado externo adecuado, las muestras se sumergieron totalmente en agua (NC). Además de NC, se simulaban cuatro condiciones de curado diferentes para las muestras de control y las curadas internamente en la primera fase para representar diferentes condiciones de campo, como se proporciona en la Tabla 2.

Tabla 2 Detalles de diferentes condiciones de curado

Symbol	Experimental curing conditions	Simulated curing conditions
NC	Normal curing under water	Proper external curing
IC1	Inside with cover	Curing under shade with covering
IC2	Inside without cover	Curing under shade without covering
IC3	Outside with cover	Exposed field condition with covering
IC4	Outside without cover	Exposed field condition without covering
IC3a	3 days under normal curing and then outside with cover	Exposed field condition under covering after 3 days of NC
IC4a	3 days under normal curing and then outside without cover	Exposed field condition without covering after 3 days of NC
IC3b	7 days under normal curing and then outside with cover	Exposed field condition under covering after 7 days of NC
IC4b	7 days under normal curing and then outside without cover	Exposed field condition without covering after 7 days of NC

Fuente: International Journal of Concrete Structures and Materials

Se mantuvieron dos conjuntos de cada tipo de muestras dentro del laboratorio para simular el curado bajo sombreado. Entre los dos conjuntos, un conjunto estaba cubierto con láminas de polietileno (IC1) y el otro conjunto se mantuvo al descubierto (IC2). Los otros dos conjuntos se mantuvieron fuera del laboratorio para simular el curado en condiciones de campo expuesto. La condición de campo expuesto denota la condición climática exterior típica del país durante la mayor parte del año. Durante el experimento, la temperatura externa promedio (condición expuesta-laboratorio externo) y la humedad relativa interna fueron alrededor de 32°C y 71%, respectivamente. La temperatura interna promedio (laboratorio interno) fue de alrededor de 30°C y la humedad relativa interna fue de alrededor del 72%. Al igual que en el caso anterior, un conjunto se cubrió con lámina de polietileno (IC3) y el otro se colocó sin cubrir (IC4). Las muestras de control (sin MCA) también se mantuvieron en condiciones similares (IC1, IC2, IC3 e IC4) para comparar las condiciones. En la segunda fase del estudio, solo se consideraron las condiciones IC3 e IC4 ya que estas condiciones son más comunes en las obras de construcción del país. Además, además de las condiciones IC3 e IC4, se simulaban cuatro condiciones de curado adicionales (denominadas IC3a, IC3b, IC4a e IC4b) en la segunda fase.

Para los ensayos de resistencia a la compresión, se hicieron muestras de hormigón, se mantuvieron en diferentes condiciones de curado durante hasta 28 días. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron a los 3, 7 y 28 días.

Para investigar la humedad relativa interna de las muestras, se prepararon cubos de hormigón cada uno con tres secciones huecas circulares en el interior. Los cubos se hicieron con proporciones de mezcla similares a las consideradas en este estudio. Las secciones huecas se sellaron adecuadamente con algodón utilizando un conducto para que el sensor pueda insertarse fácilmente. Las muestras del cubo se colocaron en el deshumidificador a temperatura constante y humedad relativa interna de 34 ° C y 65%, respectivamente. Como uno de los principales aportes del estudio se tiene que la capacidad de desorción de MCA depende de la temperatura y la humedad relativa. Las condiciones de temperatura más alta (en el rango de 30-34° C) y de humedad relativa más baja (en el rango de 60-73%) son favorables para la desorción por MCA. Sin embargo, también se encuentra que una cantidad considerable de agua puede ser desorbida por MCA incluso a una humedad relativa más alta del 85% o más. En cuanto a la resistencia y la durabilidad de las muestras curadas internamente con MCA y el revestimiento de la hoja de polietileno son mayores que las muestras de control con curado inadecuado. El mejor rendimiento se observó cuando el 20% de las astillas de piedra se reemplazó por MCA.

En Beijing China, se realizó otro estudio denominado “Influence of pre-curing time on the hydration of binder and the properties of concrete under steam curing condition” (Wang, Li, & Zhang, 2014) y se plantea la interrogante de cómo es que influye el tiempo de hidratación del concreto, usando un curado a vapor.

El curado a vapor es un método muy usado en la producción de elementos de prefabricación de concreto. Además se debe saber que el curado a temperatura elevada tiende a obstaculizar la hidratación de las partículas de cemento y hace que se dé una distribución no uniforme de los productos de hidratación, por lo que el concreto bajo temperatura elevada el curado normalmente exhibe menor resistencia y mayor permeabilidad en las edades tardías. También es necesario saber que a una temperatura elevada puede acelerar la hidratación del cemento, logrando que este gane fuerza muy rápido, mientras tanto, la contracción por secado del concreto es muy pequeña bajo condiciones de curado al vapor. Por lo que se busca saber el tiempo previo al curado para llevar a cabo este procedimiento para no ocasionar lo mencionado anteriormente.

En este proceso se usaron tres tipos de aglutinantes de prueba: Cemento puro, aglutinante con alto contenido de GGBS (Ground Granulated Blast Slag) y aglutinante con alto contenido de cenizas volátiles.

El proceso se llevó a cabo en tres tiempos, en 1, 3 y 6 horas y un periodo de curados a vapor a 60°C por más de 8 horas.

La parte experimental se explica a continuación. El cemento usado fue cemento Portland ordinario con el peso de 42.5 cumpliendo con la norma nacional china GB175-2007. La escoria utilizada fue granulada en tierra escoria de alto horno que cumpla con los requisitos Estándar GB / T 18046 - 2000. Las cenizas utilizadas fueron las cenizas que cumplían con los requisitos Estándar GB / T 1596-2005. Las superficies específicas de las cenizas de cemento, GGBS y fueron 376,430 y 358m, 2kg-1, respectivamente. Las composiciones químicas del cemento son: escoria de alto horno granulada en el suelo y piedra caliza con el tamaño de partícula entre 5 y 25 mm. El agregado utilizado para el concreto fue arena natural del río con un tamaño de partícula menor de 5 mm. La temperatura del periodo de curado al vapor es de 60°C (más de 8 h). Se adoptaron tres tiempos de pre-curado: 1, 3 y 6 h. Las muestras se curaron bajo las condiciones de 20°C y una humedad relativa superior al 95% durante el pre-curado después del curado al vapor. La velocidad exotérmica del ligante se midió por un Calorímetro isotérmico a 25°C. La permeabilidad al cloruro del concreto se ensayó de acuerdo con la norma ASTM C1202 “Método de Ensayo para la Indicación Eléctrica de Hormigones Capacidad para Resistir la Penetración de Ion de Cloruro” (Wang, Li, & Zhang, 2014).

Los resultados fueron los siguientes

- Para el primer aglutinante, la influencia del tiempo del pre-curado en la hidratación grado de aglutinante y la resistencia a la compresión y poro de la pasta es limitada, aunque la estructura de diferentes aglomerantes al mismo tiempo puede variar considerablemente.
- Para el segundo aglutinante (GGBS), la influencia del tiempo de pre-curado en la compresión, la permeabilidad del cloruro de cemento y el hormigón que contiene un alto contenido de GGBS, está limitado a edades tardías. Al aumentar el tiempo de pre-curado, tiende a aumentar el retraso resistencia a la compresión del concreto con alto contenido de cenizas volantes, pero sí tiene limitada influencia sobre la permeabilidad de la edad tardía (Wang, Li, & Zhang, 2014).

Consideramos que esta información es relevante para el tema de investigación porque se puede observar las deficiencias de este tipo de curado (a vapor) y los riesgos que se corre de emplearlo ya que se debe ser muy cuidadoso con los tiempos que se empleen para no caer en las consecuencias indicadas anteriormente.

Shohana Iffat, Tanvir Manzur y Munaz Ahmed Noor realizaron un trabajo de investigación llevado a cabo en Bangladesh, publicado el año 2016 y es titulado “Durability performance of Internally cured concrete using locally available low cost LWA” (Iffat, Manzur, & Noor, 2016).

La técnica consiste en añadir Portland y agregados livianos (LWA) al concreto, los cuales suelen ser porosos y pueden absorber una cantidad considerable de agua cuando se mantiene sumergida en agua. El autor realiza tres pruebas, por resistencia a la compresión, por permeabilidad del agua y permeabilidad de cloruro, en diferentes condiciones. Obteniendo los siguientes resultados:

Prueba de resistencia a la compresión (NC)

Las muestras de ILWP con 20% de piezas pequeñas de piedra reemplazado por BC mostraron alrededor de un 4,6% más de fuerza que el de las muestras de control NC. En el caso de muestras OLWP con un 10% reemplazado; alrededor del 2,6% se encontró una mayor resistencia a muestras de control NC. Para el 20% de reemplazo de muestras de PLO, se observó un aumento de la fuerza de alrededor del 7,7%. Para todos los demás casos de muestras curadas internamente, se redujo la resistencia a observado en comparación con las muestras de control NC. Sin embargo, en todos los casos, las muestras curadas internamente produjeron una mayor resistencia que el de muestras de control cuando se sometieron a curado de similares condiciones excepto NC (Iffat, Manzur, & Noor, 2016). Ver tabla 3.

Tabla 3 Aumento porcentual de la fuerza debido a curación a comparación de control de muestras bajo curado normal

Percent increase or decrease in strength				
W/C 0.4	ILWP	ILWOP	OLWP	OLWOP
10%	-3.8	-9.9	2.6	-12.8
20%	4.6	-2.8	7.7	-7.9
30%	-8.9	-13	-4.6	-14.3

Fuente: KSCE Journal of Civil Engineering

Resultados de la prueba de permeabilidad del agua:

Los resultados mostrados por el autor son tanto de control como curado internamente de muestras, teniendo en cuenta la proporción de cemento y agua. Las condiciones de curado se presentan en las siguientes Figuras.

Figura 2 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones ILWP y muestras de control tanto en ILWP como en NC con respecto a la relación w/c

Figura 3 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones ILWOP y muestras de control tanto en ILWOP como en NC con respecto a la relación w / c

Figura 4 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones OLWP y muestras de control tanto en OLWP como en NC con respecto a la relación w/c

Figura 5 Permeabilidad al agua de muestras curadas internamente en condiciones OLWOP y muestras de control tanto en OLWOP como en NC con respecto a la relación w/c

Figura 6 Valoración de la permeabilidad al agua con respecto al porcentaje de reemplazo para muestras curadas internamente y de control en condiciones de curado

Se observa que la permeabilidad al agua aumenta con relación agua-cemento en todos los casos. Este comportamiento se esperaba ya que una proporción de cemento de agua más baja produce generalmente un alto rendimiento concreto. Sin embargo, las muestras curadas internamente con mayor proporción de cemento de agua mostraron un rápido aumento permeabilidad en comparación con muestras de control NC. También se encuentra que las muestras de control en condición NC presentaron menos permeabilidad que las muestras curadas internamente. Por el contrario, las muestras de control bajo condiciones similares de curado simulado mostraron considerables bajo rendimiento. Por lo tanto, es probable que se produzca en ausencia de mecanismo de curado externo. Se puede observar una tendencia particular de la Figura 6. En todos los casos de las muestras curadas internamente, el 20% de reemplazo produjo permeable para una proporción dada de cemento de agua. Además, las muestras curadas

internamente entre todas las condiciones de curado simuladas y permeabilidad en comparación con muestras de control NC. En OLWP condiciones, las muestras se sometieron a temperaturas promedios lo cual fue beneficioso para la correcta hidratación del cemento. También se observó que al cubrir las muestras con láminas de polietileno menos permeabilidad. Esto se debe al hecho de que tal cobertura asegura la prevención de pérdidas de agua a través de la superficie evaporación (Iffat, Manzur, & Noor, 2016).

Prueba de permeabilidad de cloruro

Las pruebas se hicieron con muestras de control y curadas internamente con relación al agua y cemento a través de 12 distintas condiciones de trabajo.

Se observa que, al igual que el agua permeabilidad, el ingreso de cloruro aumenta con el agua para ambas muestras de control y curadas internamente.

Sin embargo, el efecto de la relación agua-cemento sobre la permeabilidad al cloruro es más pronunciada para las muestras curadas internamente que la de las muestras de control NC. Al igual que la permeabilidad al agua, observó que las muestras curadas internamente que tenían un 20% de reemplazo bajo la condición de PWT se realizó mejor en la permeabilidad al cloruro pruebas entre todas las muestras curadas internamente. Aunque el control las muestras en condiciones NC mostraron la menor permeabilidad, las muestras (control) mostraron una permeabilidad al cloruro significativamente alta en comparación con las muestras curadas internamente cuando se mantienen condiciones de curado simuladas.

El último estudio es denominado “Effect of cementitious permanent formwork on moisture field of internal-cured concrete under drying ” realizado por Jiahe Wang, JuanZhang, Xiaoping Ding, Jiajia Zhang en China el año 2017 (Wang, Zhang, Ding, & Zhang, 2017) , se muestra que después de haberse observado que el concreto de alta resistencia, al tener una baja relación de agua /cemento, la contracción autógena es mayor, y que incluso el uso de agregados livianos previamente empapados (PSLWA) no garantiza que no exista contracción autógena, ya que se comprobó que este no puede eliminar completamente el agrietamiento, ante ello plantean la técnica que combina el endurecimiento interno y encofrado permanente hecha por un compuesto de cemento de ingeniería reforzado con fibra prefabricada (ECC-PF). Después de haberse desarrollado

una serie de pruebas como se obtuvieron mejoras significativas sobre la distribución de humedad en el concreto con la utilización de ECC-PF.

El autor plantea una mejora a la solución que se propone en este informe, brindado información de las debilidades que pudiese tener el auto-curado.

1.2 Realidad problemática

El Perú es un país aún en desarrollo con los más altos índices de crecimiento en Sudamérica, aun cuando en la actualidad la tasa de crecimiento económico es del 3%, es menor a comparación de la tasa de 6% de años anteriores (CAPECO, 2018). Uno de los que ha mantenido esta tasa de crecimiento es el sector construcción.

A pesar de que este sector está en constante crecimiento, según la Cámara Peruana de Construcción (CAPECO, 2018) existe un índice de hábitos de informalidad en la autoconstrucción en Lima del 46%, es decir, existe un promedio del incumplimiento en 5 hábitos evaluados: título de propiedad, licencia, planos, dirección de la obra y compra de materiales.

Además, según el estudio realizado por este mismo gremio, solo en Lima el 70% de las viviendas son informales (CAPECO, 2017) (Ver figura 7) y a nivel nacional esta cifra puede llegar hasta 80%.

Figura 7 Construcciones formales e informales en Lima

Fuente: CAPECO

Es decir, solo el 30% de las construcciones en Lima son formales, estas cifras muestran que no se asegura un adecuado proceso al momento de construir. Uno de los materiales de construcción que se ve afectado es el concreto, ya que necesita especial cuidado desde la selección de los materiales, hasta el curado del mismo. Y aunque se hable de

construcciones formales, en el Perú, existen demandas sobre problemas referentes al concreto, específicamente de fisuras. INDECOPI recibió solo entre los años 2013 y 2014 (Quispe Napanga, 2018) un total de 54 denuncias, 50 pertenecían a Lima y 4 a Cusco (Ver Figura 8).

Figura 8 Resoluciones por fisuración

Fuente: (Quispe Napanga, 2018)

Al depurar la información, CAPECO separa a Lima en 7 zonas (Ver Figura 9).

Figura 9 Clasificación de Lima y Callao

Fuente: CAPECO

Lima Top es uno de estos sectores, que comprende los distritos de Miraflores, San Isidro, La Molina, Surco y San Borja, se detectaron 13 resoluciones (entre las 50 denuncias recibidas por INDECOPI), entre las cuales 15% eran fisuras estructurales y 85% no estructurales (Ver tabla 4 e Ilustración 10). De acuerdo con las denuncias, una de las razones fue el empleo inadecuado de procesos constructivos durante la ejecución, específicamente el deficiente proceso del curado.

Tabla 4 Denuncias por fisuración en Lima Top

Resolución Fiscal	Fecha	Distrito	Denunciado	Tipo de Fisuras	Descripción	Se resuelve:
Nº 1079-2013/CC2	06/09/2013	La Molina	Primer dueño del inmueble	No estructurales	En el departamento se hallaron fisuras en los pisos y en techos, la longitud de las fisuras supera los dos metros.	La denunciante desistió y así se puso fin al conflicto de intereses.
Nº 1709-2013/CC2	26/09/2013	La Molina	Constructora e Inmobiliaria	Estructurales No estructurales	El inmueble adquirido presenta deficiencias de fisuras por poca rigidez en la estructura de los niveles superiores; discontinuidad de elementos en altura y por inadecuado aislamiento entre la tabiquería y pórticos estructurales y fisuras superficiales por retracción plástica en: dormitorio principal, ambos dormitorios secundarios, paredes del jardín, terraza, balcón y fachada del inmueble.	La constructora va a reparar las fisuras en la edificación y pagara a los dueños del inmueble lo relacionado a los días de reparación.
Nº 1669-2014/CC2	07/03/2014	Miraflores	Constructora	No estructurales	En las paredes del departamento se formaron fisuras que con el tiempo se hicieron más notorias, ubicado en el edificio "Parque Tradiciones"	Acuerdo Conciliatorio.
Nº 1897-2013/CC2	05/11/2013	San Borja	Constructora e Inmobiliaria	No estructurales	Se ubican fisuras en el hall de distribución y dormitorio principal en el departamento ubicado en Urbanización Las Magnolias.	Prescripción: LEY Nº 29571, Artículo 121º del Código de protección y defensa del consumidor.
Nº 2181-2013/CC2	23/05/2014	San Borja	Constructora	No estructurales	Gran cantidad de fisuras finas en las paredes y techos.	La constructora pago la multa y realizo la reparación de las fisuras.
Nº 2198-2013/CC2	25/11/2013	San Isidro	Constructora e Inmobiliaria	No estructurales	La junta de propietarios presenta una demanda por encontrar fisuras en las losas que deja filtrar el agua.	La constructora debe reparar las grietas en la losa.
Nº 1908-2013/CC2	05/11/2013	Santiago de Surco	Constructora	Estructurales No estructurales	Fisuras en los alféizar de las ventanas y en los techos, también fisuras verticales en las vigas, fisuras que no coinciden con las juntas de expansión entre la tabiquería y elementos estructurales, calificándose a la edificación como ALTO RIESGO.	La constructora debe entregar un departamento que cumpla con el Reglamento Nacional de Construcciones y seguridad de Defensa Civil, con características iguales o mejores a la adquirida.

Fuente: INDECOPI

Figura 10 Resoluciones por Fisuras en Lima Top

Fuente: INDECOPI

1.3 Formulación del Problema

¿Cómo se puede evitar las deficiencias producidas por el mal curado tradicional del concreto?

1.4 Hipótesis

El reemplazo de agregado grueso por el adecuado porcentaje de ladrillo triturado logra disminuir las fisuras superficiales y aumenta la resistencia a la compresión del concreto en zonas cálidas.

1.5 Objetivo General

Disminuir las fisuras superficiales y aumentar la resistencia a la compresión del concreto en zonas cálidas aplicando el método de auto-curado reemplazando parcialmente agregado grueso por ladrillo triturado.

1.6 Objetivos Específicos

- Encontrar el porcentaje óptimo de ladrillo triturado como reemplazo parcial del agregado grueso.
- Aumentar 4% la resistencia a la compresión de la mezcla con reemplazo parcial de ladrillo, a comparación del diseño control.
- Lograr una relación de reducción de grietas (CRR) mayor a 25% en cuanto a la contracción plástica en los diseños con ladrillo triturado a comparación del diseño control.
- Reducir al menos el 5% de los costos de la mezcla con ladrillo triturado con respecto al diseño control.

1.7 Descripción del contenido

El trabajo de investigación consta de siete capítulos: Introducción, Marco Teórico, Materiales y métodos, Resultados, Discusión de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones. La INTRODUCCIÓN es la primera parte de esta investigación, donde se presentan 5 antecedentes referentes al tema de estudio, se explica la realidad de la problemática y se hace mención de datos estadísticos que respaldan la información, dentro de la INTRODUCCIÓN se encuentra la formulación del problema, hipótesis, un objetivo general y tres objetivos específicos. El segundo capítulo del trabajo de investigación es MARCO TEÓRICO, en este se encuentran las definiciones de concreto, concreto auto-curado y sus beneficios, materiales para el concreto, como el cemento, agua, agregados, aditivos, se explica la composición de cada material. En este segundo capítulo también se explican los diferentes métodos utilizados para realizar el diseño de mezcla de concreto, los ensayos que se realizan al concreto fresco y endurecido. El tercer capítulo es MATERIAL Y MÉTODOS, de explica la población seleccionada y la muestra a evaluar. También se contiene el método, nivel de investigación, diseño de Investigación, variable de estudio y operacionalización, técnico e Instrumentos de recolección de datos y técnicas de procesamiento y análisis de datos. En el cuarto capítulo, RESULTADOS se presentan los resultados obtenidos en la investigación acordes con los objetivos planteados, de acuerdo a los porcentajes de

reemplazo de ladrillo triturado planteados. En el quinto capítulo, DISCUSIÓN DE RESULTADOS se realiza la verificación de los resultados, para ellos se realizan las pruebas para validar los resultados de la investigación. También se analiza e interpretar los resultados encontrados, y se enfatiza los resultados más relevantes y novedosos. En el siguiente capítulo, CONCLUSIONES, se presentan las conclusiones del estudio de investigación de acuerdo a los objetivos, hipótesis, información relevante. En el quinto capítulo se realizan sugerencias para nuevas investigaciones, y con respecto a la forma de mejorar los métodos de estudio. Finalmente se presentan las referencias bibliográficas utilizadas para la investigación.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1 El concreto

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo debido a algunas propiedades atribuidas a su empleo, como su habilidad de resistir factores externos que la deterioran, su fácil maniobrabilidad y también debido a que los elementos de las cuales se compone se encuentran en todo el mundo (Neville A. , 2010).

Se define al concreto como la mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua con o sin aditivos (ACI, 2014), dependiendo de donde vaya a usarse, se realiza la dosificación de cada material, para esto debe cumplirse una relación de agua cemento (a/c) la cual indica cuanta proporción de agua y cemento debe tener la mezcla, cuanto menor sea la relación, más cemento tendrá el concreto, por ende, menos agua. Sin embargo, el concreto suele perder parte del agua de diseño durante el proceso de curado por las altas temperaturas que se producen dentro de la mezcla, por ello se cura el concreto, para darle a la mezcla la humedad necesaria y que el agua inicial de la mezcla no se evapore. Si el concreto no llegara a estar lo suficientemente húmedo, aparecerían problemas como la contracción autógena que, como consecuencia, hace que aparezcan grietas, fisuras y la resistencia del concreto bajaría. Este problema es inversamente proporcional a la relación agua cemento (Zhang, 2016) es decir, cuanto menor sea la relación agua cemento, la contracción es más notoria. Es preocupante ya que puede comprometer en gran parte la resistencia a la compresión y otras propiedades mecánicas y físicas del concreto, esto a su vez involucra a su durabilidad a largo plazo (Ole & Pietro, 2006).

2.1.2 Concreto auto-curado

El concreto auto-curado es un tipo de concreto que tiene la propiedad de curarse sin utilizar ningún tipo de curado externo (Bashandy, 2016). Hecho con la mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso, agua con o sin aditivos y la adición algún agente de curado interno, como agregado liviano o agentes químicos.

Los dos objetivos principales del curado interno son maximizar la hidratación y minimizar la auto-deseccación y las tensiones que la acompañan que pueden producir agrietamiento a edades tempranas. (Dale P. & W. Jason, 2011)

2.1.2.1 Principio básico

Incorporar agua en la mezcla que no está disponible para la hidratación al comienzo (baja A/C), pero que es liberada más tarde cuando es requerida para continuar la hidratación (Benz & Snyder, 1999). Es decir, se proporciona la suficiente agua para que el concreto pueda curarse por si mismo. Ello se logra encapsulando agua dentro de los ingredientes utilizados para hacer concreto. Si no se proporciona la suficiente agua la mezcla se pueden generar muchos otros problemas relacionados con el rendimiento, como sangrado, segregación entre otros (Zhutovsky & Kovle, 2012).

Para poder encapsular el agua, se debe usar un material especial, en el que se pueda almacenar parte del agua para el curado interno (A & Sivaraja, 2016).

Figura 11 Diferencia del curado interno con el curado externo

Fuente: (Castro, De la Varga, Golias, & Weiss, 2010)

2.1.2.2 Beneficios del concreto auto-curado

- La retención interna de agua ayuda a que la hidratación del cemento sea de forma uniforme y ayuda al desarrollo adecuado de la resistencia en el elemento estructural.
- Reducción del encogimiento por contracción autógena.
- Reduce a largo plazo la contracción por secado
- Ahorra personal para el proceso de curado del concreto
- Mayor durabilidad
- Elimina el curado externo

2.2 Materiales para el concreto

2.2.1 Cemento

Según la Norma Técnica Peruana el cemento portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker, compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adicional durante la molienda. Es decir, el cemento portland está compuesto de Clinker y yeso.

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas que le dan capacidad para unir fragmentos minerales que formaran un elemento compacto cuando está sumergido bajo el agua debido a las reacciones químicas que experimentan, por esta razón se denomina cemento hidráulico.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a material aglutinante utilizado con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que en construcción e ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos (Neville A. , 2010).

2.2.1.1 Composición química del cemento

En el cemento se suelen considerar cuatro compuestos como los compuestos principales, ya que estas representan del 95% al 97% del total del cemento. Estos son la cal, la sílice, la aluminita y el óxido férrico que serán abreviadas respectivamente por los químicos con una letra: $\text{CaO} = \text{C}$; $\text{SiO}_2 = \text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$.

Tabla 5 Limites de composición química aproximada para cemento portland

Óxido	Contenido, porcentaje
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0
MgO	0.5-4.0
Álcalis (como Na ₂ O)	0.3-1.2
SO ₃	2.0-3.5

Fuente : Tecnología del concreto. Adam Neville

Los compuestos químicos formados por la combinación de los óxidos entre sí por la cocción a altas temperaturas son EL Silicato Tricálcico, Silicato Dicálcico, Aluminato Tricálcico Y Aluminoferrita Tetracalcica de la cual se mostrará su composición de óxido en la tabla número 6.

Tabla 6 Compuestos principales del cemento portland

Nombre del compuesto	Composición de óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrita tetracálcica	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Fuente: Tecnología del concreto. Adam Neville

2.2.1.2 Fases minerales del cemento

Silicato tricálcico C3S

Es el componente más importante del cemento portland, dado que favorece a controlar los asentamientos y el desarrollo temprano de la resistencia de las pastas del cemento portland. Los estudios desarrollados sobre mezclas puras de agua y C3S han demostrado ser invaluable para comprender los efectos de la temperatura, dilución, mezcla y otros compuestos del hormigón (Gartner, Damidot, Young, & Jawed, 2001)

Silicato dicálcico C2S

Es menos estudiada que el silicato tricálcico porque su hidratación contribuye principalmente al desarrollo de las propiedades a largo plazo (Gartner, Damidot, Young, & Jawed, 2001). El silicato dicálcico principalmente contribuye al desarrollo de la

resistencia a largo plazo, esta se hidrata y endurece lentamente y solo el 30% de la reacción ocurre dentro de los 28 días.

Aluminato Tricálcico C3A

La cantidad presente de C3A en la mayoría de los cementos es comparativamente pequeña, pero su comportamiento y relación estructural con las otras fases del cemento le confieren importancia. Esta condición el fraguado violento, actuando como catalizador el yeso, libera una gran cantidad de calor durante los primeros días, hidratación y endurecimiento rápido, y es el responsable de la resistencia a los sulfatos (Gartner, Damidot, Young, & Jawed, 2001).

Ferroaluminato Tricálcico C4AF

El Ferroaluminato tricálcico en los cementos es el encargado del color, Muchos cementos tienen una fase de ferrita con una composición cercana a C4AF, por lo que esta es la composición más común (Gartner, Damidot, Young, & Jawed, 2001).. En los estudios realizados se da como resultados que se hidrata con rapidez, pero tiene poca contribución a la resistencia a largo plazo.

2.2.1.3 La relación agua/cemento (a/c)

De cuando en cuando, a la regla de la relación agua/cemento, se le ha hecho la crítica de no ser suficientemente fundamental, no obstante, en la práctica, la relación agua/cemento es el factor individual más grande dentro de la resistencia del concreto totalmente compactado.

La resistencia del concreto a una determinada edad depende fundamentalmente de dos factores que son: la relación a/c y el grado de compactación, tanto si la compactación es manual o una compactación con vibración.

Figura 12 Comparación entre resistencia y relación agua/cemento del concreto

Fuente: (Gartner, Damidot, Young, & Jawed, 2001)

2.2.1.4 Tipos de cemento

Los tipos de cemento los encontramos en las normas del ASTM; en la norma ASTM C 150 encontramos las especificaciones para el cemento portland Tipo I, II, III, IV, V; en la norma ASTM C 595 observamos las especificaciones para los cementos adicionados hidráulicos; en la norma ASTM C 845 encontramos las especificaciones para los cementos hidráulicos expansivos y en el ASTM C 1157 encontramos las especificaciones de desempeño para el cemento hidráulico.

2.2.1.5 El cemento en el Perú

El cemento en Perú es comercializado en bolsas de 42.5 kg y a granel de acuerdo con el pedido del usuario. Los tipos y clases de cemento por empresas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 7 Tipos y clases de cemento por empresas

EMPRESAS		Portland Tipos (1)		Hidráulico para uso general	Portland Puzolánico Tipos (2)		Antisulfato (3)	Extradurable (3)	Compuesto ICo (2)	Albañilería (4)	Alta Resistencia Inicial
		I	V	GU (3)	IP	I(PM)	MS	HS	ICo		HE
UNACEM S.A.A.	Atocongo	✓(*)		✓	✓(*)						
	Condorcocha	✓(*)	✓(*)		✓(*)	✓(*)					
Cementos Pacasmayo S.A.A.		✓	✓		✓		✓	✓	✓		
Cal & Cemento Sur S.A.					✓						
Yura S.A.					✓			✓		✓	✓

Fuente: (UNACEM, 2015)

2.2.2 Agua

En el artículo calidad del agua para hacer concreto (Mr. K. J. Kucche, 2015), se menciona que el agua es el ingrediente más importante del concreto, por su activa participación en las reacciones químicas con el cemento, donde se forma la fuerza que proporciona el gel de cemento, donde para esto se requiere la cantidad y calidad adecuada de agua. Un criterio popular para la idoneidad del agua para mezclar concreto es que, si el agua es apta para beber, es apta para hacer concreto. La mayoría de las aguas naturales que son potables y no tienen un sabor u olor pronunciado (fuertemente marcado) se pueden usar como agua de mezcla para hacer concreto (Rakesh A. More, 2014). Las impurezas en el agua de mezcla no solo afectan el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino que adicionalmente pueden causar eflorescencia, manchas, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y afectar a la durabilidad.

2.2.3 Agregados

El comité del ACI E701 define a los agregados como un material granular, tal como arena, grava, piedra chancada, escoria y agregados livianos, que usualmente ocupan aproximadamente entre 60% y 75% del volumen total en el concreto. Los agregados aportan al concreto en la trabajabilidad, durabilidad, resistencia, propiedades térmicas, densidad, además de reducir los cambios de volumen debido a la contracción por secado de la pasta de cemento y agua, funciona como un relleno económico que reduce el costo del concreto.

Hay varios motivos para especificar los límites de calificación y tamaño máximo agregado nominal; ellos afectan las proporciones agregadas, así como el cemento y agua, sus requisitos, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Variaciones en la clasificación pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de un lote a otro (Kosmatka, Steven H, Kerkhoff, Beatrix, & Panarese, William C, 2002). Las arenas muy finas a menudo no son económicas; arenas muy gruesas y agregado grueso pueden producir mezclas duras e inviables. En general, el dar una curva de nivelación suave producirá el más satisfactorio resultado.

Figura 13 Límites especificados en ASTM C 33 para agregado fino y para (tamaño de clasificación) del agregado grueso.

Fuente: (Kosmatka, Steven H, Kerkhoff, Beatrix, & Panarese, William C, 2002)

2.2.3.1 Clasificación de los agregados

Existen muchas formas de clasificar a los Agregados:

- Por su naturaleza: Pueden ser naturales o artificiales.
- Por su densidad: De acuerdo con el peso específico los ligeros son los que tienen menor a 2.5 gr/cm³, mientras que los gruesos son mayores a 2.75 gr/cm³.
- Por el origen, forma y textura superficial: Pueden ser angulares, sub angulares, sub-redondeados, redondeados o muy redondeados.
- Por el tamaño del Agregado: Se clasifican en Finos (arenas) y Gruesos (piedras)

Figura 14 Rango de tamaños de partículas encontrados en agregados para su uso

Fuente: (Kosmatka, Steven H, Kerkhoff, Beatrix, & Panarese, William C, 2002)

2.2.3.1.1 Agregado fino

Se define como Agregado Fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa por el tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N°200 que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. El Agregado Fino puede consistir en arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Debiendo cumplir los siguientes requisitos:

Sus partículas deben ser limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes.

Debe de estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.

2.2.3.1.2 Agregado grueso

Se define como Agregado Grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4) compuesto de grava natural o triturada, piedra partida, o Agregados metálicos naturales o artificiales y que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037 o ASTM C 33.

El Agregado Grueso deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.

Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

2.3 Curado del concreto

El curado del concreto es la parte del procedimiento constructivo donde se busca mantener un adecuado contenido de humedad y temperatura, para que la reacción química producida por el contacto del agua con el cemento no pare en el tiempo y de esta manera se pueda desarrollar la resistencia y durabilidad deseada.

Para el concreto expuesto, la humedad relativa, el viento, la temperatura del medio ambiente contribuyen a la pérdida de humedad que dan como resultado el agrietamiento, baja calidad y durabilidad de la superficie. Debido a esto, las razones por la cual se cura el concreto es para obtener la resistencia requerida, una mejora de la durabilidad y la mejora de la apariencia ya que reduce el resquebrajamiento, descascaramiento.

2.3.1 Tipos de Curado del Concreto

Existen diversos materiales, métodos y tipos de curado de concreto, pero todas bajo el mismo principio que es: garantizar un contenido de humedad satisfactorio y temperatura para que se desarrollen las propiedades de diseño. Los dos sistemas son los siguientes:

- La continua aplicación de agua en el concreto, por anegamiento, aspersión, vapor, cubiertas de materiales saturados, mantas de yute, alfombras, tierra, arena.
- Evitar la pérdida excesiva de agua en la superficie del concreto, empleando hojas de plástico, papel impermeable o utilizando formadores de membranas sobre el concreto.

Anegamiento o inmersión

Esta se emplea raramente en obra, pero es el método más completo en cuanto a curado consiste. Se emplea cuando se trata de losas de pisos, puentes y todo lugar donde es posible crear un charco de agua.

Rociado de niebla o aspersión

Se utiliza cuando la temperatura es bastante superior al de congelación, esta proporciona un excelente curado ya que crea una superficie de película de humedad. Los aspersores son efectivos cuando no hay preocupación del consumo de agua.

Materiales selladores

Son hojas o membranas que se colocan sobre el concreto para reducir la pérdida de humedad por evaporación. Su empleo es favorable en algunas condiciones para disminuir la posibilidad de que el concreto se seque antes de tiempo debido a un error de mantenimiento de la cubierta húmeda. Estos materiales tienen la propiedad de ser manejables y se pueden aplicar a temprana edad.

Curado por humedad interna

Este método da humedad al concreto desde el interior del concreto a diferencia de las otras. Esta no debe afectar al agua inicial de la relación agua cemento. Se utilizan agregados ligeros o partículas absorbentes con gran capacidad para retener agua. En concretos de baja relación a/c el agregado ligero utilizado puede suministrar humedad

adicional para continuar la hidratación del cemento, que resultara en un aumento de la resistencia y durabilidad.

2.4 Diseño de mezcla

Para realizar un adecuado diseño de mezcla, es fundamental definir cómo, cuándo y dónde se va a utilizar el concreto a diseñar. Después de haber definido lo anterior, se busca que el concreto cumpla con características primordiales para poder establecer la dosificación y determinar las cantidades de materiales que intervienen en la mezcla.

Trabajabilidad

El concreto debe ser diseñado para poder ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. Se debe lograr el acabado solicitado y minimizar la segregación y sangrado de la mezcla. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados. Si es necesario rediseñar la mezcla para mejorar la trabajabilidad se debe aumentar el mortero y no solo agua y cemento. (Huanca, 2018).

Resistencia y durabilidad

De acuerdo a las especificaciones del concreto se requerirá una resistencia mínima, una relación de agua/cemento máxima y contenido de cemento mínimo, estos requisitos, deben guardar una estrecha relación. Las especificaciones también podrían requerir que el concreto cumpla ciertos requisitos de durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo o ataque químico (Huanca, 2018) . Estas consideraciones podrían establecer limitaciones adicionales en la relación agua cemento (a/c), el contenido de cemento y en adición podría requerir el uso de aditivos.

Sin embargo, no todos los requerimientos pueden ser cumplidos, por lo que se busca compensar uno con otro.

A continuación, se muestra los principales métodos para realizar un diseño de mezcla del concreto:

A. Método del comité 211 del ACI

Mediante este método se puede estimar la cantidad de materiales a utilizar por metro cúbico de concreto independientemente de las características finales del concreto. La secuencia para obtener estas cantidades son las siguientes:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión, especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
- Selección del tamaño nominal máximo del agregado grueso.
- Selección del asentamiento, volumen unitario del agua de diseño, contenido de aire, relación agua/cemento por resistencia y durabilidad.
- Determinación del factor cemento, contenido de agregado grueso, de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso, del volumen absoluto del agregado fino y de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- Determinación de la proporción en peso, de diseño y de la obra.
- Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

(Guima, 2002)

B. Método Walker

Para determinar las cantidades necesarias de material por metro cúbico usando el método Walker, se siguen los siguientes pasos:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso, asentamiento, volumen unitario del agua de diseño, contenido de aire, relación agua/cemento por resistencia y durabilidad.
- Determinación del factor cemento, suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua y aire, del volumen absoluto de agregado total, del porcentaje de agregado fino en relación al volumen total del agregado, del volumen absoluto de agregado grueso y de los pesos secos de los agregados finos y grueso.
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- Determinación de la proporción en peso de diseño y de obra.
- Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

(Guima, 2002)

C. Método del módulo de finura de la combinación de agregados

En este método los contenidos de agregados finos y gruesos varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación principalmente, función de la relación agua/cemento y del contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento de la mezcla. Los pasos a seguir son:

- Determinación de la resistencia promedio.
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Selección del asentamiento.
- Volumen unitario de agua.
- Selección del contenido de aire.
- Relación de agua/cemento.
- Factor cemento.
- Cálculo de volumen absoluto de la pasta.
- Volumen absoluto del agregado.
- Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados.
- Cálculo del porcentaje de agregado fino en relación al total de agregados.
- Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados.
- Pesos secos de los agregados.
- Valores de diseño.
- Corrección por humedad del agregado.
- Proporción en peso.
- Pesos por tanda de una bolsa.

(Guima, 2002)

D. Método del agregado global

Este método permite escoger la mejor combinación de agregados, tanto fino como grueso para ganar resistencia. Estos son los pasos a seguir:

- Se hallan las características de los agregados; peso específico, peso unitario suelto, peso unitario compactado, contenido de humedad, absorción, granulometría, etc.
- Definir el mayor peso unitario compactado en variación de porcentajes de combinación de agregados.

- Ubicar la gráfica de compacidad: Peso unitario compactado vs Porcentajes de arena. De esta gráfica se puede encontrar el punto máximo.
- Con este porcentaje hallado mediante la gráfica se obtiene la cantidad de agua óptima para obtener el slump requerido (31/2").
- Vacear 3 probetas de cada proporción con una variación mínima $\pm 3\%$.
- Transcurridos 7 días, las probetas previamente curadas se ensayan en compresión y se grafica % arena vs resistencia a la compresión. De esta gráfica se obtiene el % óptimo de arena en la mezcla patrón.
- Con la cantidad de agua hallada por m³ de concreto se halla el contenido de cemento en la mezcla (volúmenes absolutos de cada componente).
- Encontrar pesos secos del diseño de mezclas.
- Realizar la corrección por humedad.
- Obtener las cantidades en peso por tanda.

(Guima, 2002)

2.5 Propiedades del concreto fresco y endurecido

2.5.1 Propiedades del concreto fresco

A) Trabajabilidad del concreto

Un concreto que se puede compactar con facilidad se dice que es trabajable, pero decir precisamente que la trabajabilidad determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación es una descripción demasiado vaga de esta propiedad importante del concreto. Además, la trabajabilidad deseada en cualquier caso particular dependería del medio de compactación disponible; igualmente, una trabajabilidad conveniente para concreto masivo no es necesariamente suficiente para secciones delgadas, inaccesibles o altamente reforzadas. Por estas razones, la trabajabilidad se debería definir como una propiedad física del concreto sólo con referencia a las circunstancias de un tipo particular de construcción.

Se llama a un concreto trabajable cuando esta se puede compactar con facilidad, pero decir que la trabajabilidad determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación es una descripción vaga de esta propiedad del concreto (Neville A. N., 2013) .

El ACI define a la trabajabilidad como aquella propiedad del concreto o mortero acabado de mezclar que determina la facilidad y homogeneidad con las cuales se puede mezclar, colocar, compactar y acabar".

- Factores que afectan la trabajabilidad

Los principales factores que afectan la trabajabilidad del concreto son 4, entre ellas tenemos la relación agua/cemento, relación agregado/cemento, agua y la finura de cemento que aún sigue siendo controversial.

Siendo el factor principal el contenido de agua en la mezcla que de acuerdo con el contenido de agua en la mezcla y el tamaño máximo del agregado podemos estimar un revenimiento tanto para un concreto con aire incluido o sin aire incluido. Donde en el concreto con aire incluido el contenido de agua se reducirá, si mantenemos fijo el contenido de agua en la mezcla la trabajabilidad estará en función del tamaño máximo de agregado, granulometría, forma y textura.

2.5.1.1 Propiedades del concreto fresco a edad temprana

El concreto es considerado en estado fresco desde el mezclado hasta que el cemento fragua, los ensayos que se realizan son esenciales para monitorear las características iniciales del concreto y el efecto que tienen los insumos en la mezcla final buscando controlar su comportamiento una vez puesta en servicio. Estos ensayos al concreto son realizados de acuerdo con los requisitos de la norma técnica peruana.

Ensayo de determinación de temperatura (ASTM C1043)

Este ensayo sirve para determinar la temperatura en la mezcla de concreto de cemento portland recién mezclado, donde la temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente. Es importante realizar este ensayo ya que condiciona la velocidad del endurecimiento inicial y aporta al efecto de contracción.

Figura 15 Demanda de agua

Fuente: (Neville A. N., 2013)

Asentamiento o prueba de revenimiento (C143)

La prueba de revenimiento se realiza con el fin de obtener el asentamiento y dar una medida indirecta de trabajabilidad, a su vez es una buena prueba de control ya que nos ofrece una indicación de uniformidad de la mezcla.

El asentamiento bajo control en laboratorio está estrictamente relacionado con el contenido de agua de la mezcla e inversamente proporcional con la resistencia del concreto.

En este ensayo se utiliza el cono de Abrams donde el tiempo de evaluación no debe pasar los 2.5 minutos de realizado el muestreo de mezcla, donde la consistencia del concreto se mide por la medida del asentamiento que está dada por la diferencia de alturas en el molde cónico invertido y a altura del cono de concreto deformado.

Un indicador es la inspección visual donde si no se desploma uniformemente todo alrededor, y se produce un deslizamiento en plano inclinado, se dice que ocurre un revenimiento cortante por la cual se debe efectuar una nueva prueba.

Tiempo de fraguado ASTM C403

El fraguado, es el proceso de endurecimiento del concreto, por lo tanto, este ensayo tiene por finalidad determinar el tiempo que el mortero (extraído de la mezcla del concreto) demora en endurecer y ganar resistencia desde el ingreso de los materiales a la mezcladora.

La medida del principio y fin de fraguado se realiza corrientemente; permite tener una idea del comportamiento posterior del cemento en condiciones particulares de utilización como hormigonado en tiempo cálido o en tiempo frío.

Para la determinación del tiempo de fraguado existen aparatos automáticos, pero la aguja de Vicat permanece como el procedimiento más empleado.

Contenido de aire NTP 339.046

El ensayo de contenido de aire se realiza para determinar la cantidad de vacíos que tiene el concreto internamente. Esto es fundamental para climas externos donde se desarrollan grandes presiones debido a la formación de cristales de hielo. La falla en el contenido de aire apropiado del concreto expuesto al ciclo hielo-deshielo puede dar como resultado una baja durabilidad.

Se debe tener en cuenta que el exceso de contenido de aire puede disminuir la resistencia del concreto para la cual fue diseñada. Sin embargo, la cantidad adecuada y una repartición homogénea ayudará en la manejabilidad y en el aumento de la resistencia.

Existen tres métodos para calcular el contenido de aire en el concreto fresco, que son:

- Método de presión NTP 339.083
- Método Gravimétrico NTP 339.046
- Método Volumétrico NTP339.081

Estos tres métodos arrojan los mismos contenidos de aire en Concretos con Agregados livianos. Para nuestra investigación, se procedió este Ensayo de acuerdo con el método gravimétrico conforme la norma NTP 339.046.

Peso unitario ASTM C138

El peso unitario del concreto es el peso del concreto por unidad de volumen del concreto expresado en kg/m^3 , este ensayo es empleado para la determinación del rendimiento de las mezclas, el contenido de cemento y el contenido de aire.

El peso unitario varía dependiendo de la cantidad y densidad de los agregados, contenido de aire y relación a/c mismos que son influenciados por el tamaño máximo del agregado.

Las variaciones del peso unitario de una mezcla generalmente son debidas al tipo de agregados clasificándose así, en concretos normales (2200-2500 kg/m³ densos (2700-4500) y livianos (600-1800 kg/m³).

Segregación

Nos referimos a segregación con que el concreto debe ser cohesivo. La ausencia de segregación en la mezcla es esencial debido a que la compactación completa de una mezcla segregada es imposible.

(Neville A. N., 2013) define a la segregación como la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución ya no es uniforme. Las causas primarias de la segregación son el tamaño de partículas y el peso específico de los constituyentes de la mezcla, aunque su efecto puede controlarse con la selección de una adecuada granulometría y con el cuidado del manejo de la mezcla. Al ser la viscosidad el componente que actúa en contra del movimiento descendente a menor relación agua/cemento la mezcla será menos propensa a la segregación.

Si el concreto no se traslada grandes recorridos y se transfiere directamente del cucharón o carretilla a la posición final el peligro de segregación es mínima. Por otro lado, si se deja caer de una altura considerable y se pasa a través de un canalón o un obstáculo esto favorecerá a la segregación.

(Neville A. , 2010) señala que el aire incluido reduce el peligro de segregación. Por otra parte, el uso de agregado grueso cuyo peso específico difiere apreciablemente del que corresponde al de agregado fino, conduciría un aumento de la segregación.

La segregación es difícil de medir cuantitativamente, pero se descubre fácilmente cuando el concreto se maneja en obra en alguna de las formas señaladas como inadecuadas.

Exudación ASTM C232

Es una forma de segregación, conocida también como ganancia de agua donde parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado. Esto se origina por la incapacidad de los componentes sólidos para retener toda el agua cuando se asientan.

A consecuencia de la exudación, la parte superior de cada capa de concreto colocada puede quedar demasiado húmeda y, si el agua queda atrapada por el concreto superpuesto, da por resultado una zona de adherencia pobre con una capa porosa débil y no duradera de concreto. Si el agua exudada se vuelve a mezclar durante el acabado de la superficie superior, resultará una superficie de desgaste débil. Si la evaporación del agua de la superficie del concreto es más rápida que el índice de exudación puede producirse un agrietamiento por contracción plástica.

Además, la acumulación en la superficie superior del concreto, parte del agua que sube queda atrapada debajo de partículas grandes del agregado o del refuerzo, creando zonas de baja adherencia. Esa agua va dejando vacíos y, puesto que éstos quedan orientados en la misma dirección, la permeabilidad del concreto en un plano horizontal podría incrementarse. Una pequeña cantidad de vacíos está presente casi siempre, pero la exudación abundante debe evitarse, ya que aumenta el riesgo de daño por congelación.

La exudación no es necesariamente perjudicial si la superficie del concreto se va a tratar al vacío, facilitándose la remoción de agua sobrante. Si la exudación no se interrumpe y existe una evaporación del agua, la relación de a/c baja, es decir nos dará un aumento de la resistencia.

La tendencia de exudación depende de las propiedades del cemento, ya que esta disminuye al aumentar la finura del cemento, ya que las partículas finas se hidratan en menos tiempo y la rapidez de sedimentación es menor. También depende de la presencia de una proporción adecuada de partículas de agregado muy fino, pero estas partículas deben ser de polvo y no de arcilla.

2.5.2 Propiedades del concreto endurecido

Entre las propiedades del concreto, la más valiosa es la resistencia, aun cuando existen características como la porosidad, permeabilidad o durabilidad que pueden ser más importantes. Esta propiedad es la más valiosa ya que nos puede dar una idea de la calidad del concreto.

Los efectos del curado interno sobre la resistencia del concreto a la compresión al depender de las condiciones específicas de la mezcla, condiciones de curado y edad de prueba, pueden aumentar su resistencia y módulo de elasticidad debido al grado de hidratación de cemento, así como a la inversa se podría observar una disminución de la

resistencia debido a que los agregados de peso ligero que reemplazan a los agregados normales terminan con vacíos de aire adicionales dentro del concreto

Aunque la influencia en el módulo de elasticidad es menor que en la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad de la mezcla con curado interno es menor que el concreto curado convencionalmente. Es bien sabido que los hormigones livianos generalmente exhiben módulos elásticos más bajos que sus contrapartes de peso normal y pueden exhibir una relación de módulo de fuerza diferente (Holm, Bremner y Newman, 1984)

2.5.2.1 Ensayos para evaluar la resistencia del concreto

Resistencia a la compresión uniaxial (NTP 339.034/ASTM C39)

Este método de prueba sirve para la determinación de la resistencia de la compresión de elementos cilíndricos de concreto hecho con moldes de medidas específicas, aplicando una compresión axial a cilindros moldeados a una tasa de velocidad predeterminada, hasta que la falla ocurre. El parámetro obtenido es una propiedad principalmente física y es frecuentemente usado en el diseño de estructuras, se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) o en mega pascales (MPa).

Importancia:

Los valores obtenidos de la prueba de resistencia a compresión del concreto dependerán del tamaño y forma del espécimen, mezclado, colado, moldeado, fabricación, edad, temperatura, humedad, curado y vibrado. Se puede utilizar con fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia en elementos estructurales que nos permitan definir la programación de la remoción de encofrados, puntales en la obra.

Equipo:

La máquina de ensayo deberá tener capacidad conveniente, debe ser operada por energía (no manual) y debe permitir una velocidad de carga sobre la probeta de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s, de forma continua sin intermitencia ni detenimiento

La máquina de ensayo será equipada con dos bloques de acero con caras resistentes, uno de los cuales se asentará sobre una rótula, que le permita acomodarse a la parte superior de la probeta, y el otro se apoya sobre una sólida base en el que se asienta la parte inferior de la misma. Las caras de los bloques serán paralelas durante el ensayo y deben

tener una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro de las probetas a ser ensayadas.

Especímenes para ensayo:

El ensayo se puede realizar con especímenes obtenidos en cualquiera de las siguientes condiciones:

- Especímenes curados y moldeados, de acuerdo con la ASTM C31, de una muestra de concreto fresco.
- Especímenes extraídos o aserrados de una estructura de concreto endurecido, de acuerdo con la ASTM C42.
- Especímenes producidos con moldes de cilindros colocados in situ (embebidos en la estructura), de acuerdo con la ASTM C873.

Procedimiento de ensayo:

El diámetro del cilindro se debe medir con un micrómetro en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más del 2%, no se debe someter a prueba el cilindro.

Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicular del eje del cilindro en más 0.5% y los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas (0.05mm).

Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con máquina hidráulica se debe mantener en un rango de 20 a 50 PSI/s. (1.5 a 3.5 Kg/cm²/s) durante la última mitad de la fase de carga. Se debe anotar el tipo de ruptura. La fractura cónica es un patrón común de ruptura. La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura, entre el área promedio de la sección. La norma ASTM C 39 presenta los factores de corrección en caso de que la relación altura-diámetro del cilindro se halle entre 1.75 y 1.00, lo cual es poco común. Se someten a prueba por lo menos dos cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba, al intervalo más próximo de 10 PSI. (1 Kg/cm²).

Los resultados de las pruebas realizadas en diferentes laboratorios para la misma muestra de concreto no deberán diferir en más de 13% aproximadamente del promedio de los dos resultados de las pruebas.

Si 1 o 2 de los conjuntos de cilindros se fracturan a una resistencia menor a f'_c , evalúe si los cilindros presentan problemas obvios y retenga los cilindros sometidos a ensayo para examinarlos posteriormente. A menudo, la causa de una prueba malograda puede verse fácilmente en el cilindro, bien inmediatamente o mediante examen petrográfico. Si se desechan o botan estos cilindros se puede perder una oportunidad fácil de corregir el problema. En algunos casos, se elaboran cilindros adicionales de reserva y se pueden probar si un cilindro de un conjunto de fractura a una resistencia menor.

Consideraciones en el ensayo:

Registrar como dato la edad de la probeta a ensayar, la cual es la diferencia entre la fecha de ensayo y la fecha de elaboración. Para la hora de ensayo considerar las siguientes tolerancias:

Tabla 8 Tolerancia permisible de tiempo de ensayo

EDAD	TOLERANCIA PERMISIBLE DE TIEMPO DE ENSAYO
24H00	± 0.5 h ó 2.1 %
3 días	2 h ó 2.8 %
7 días	6 h ó 3.6 %
28 días	20 h ó 3.0 %
90 días	2 días ó 2.2 %

Fuente: (ACI, 2014)

Para probetas de dimensiones 6" x 12" se tomará como valor de resistencia de un determinado diseño de mezcla el promedio del resultado de 2 probetas y para las dimensiones de 4" x 8" el promedio del correspondiente a 3 probetas, tomar en cuenta el porcentaje de dispersión máximo a controlar para cada caso:

Tabla 9 Rango aceptable en fuerza individual de cilindros

	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	RANGO ACEPTABLE EN FUERZA INDIVIDUAL DE CILINDROS	
		2 Cilindros	3 Cilindros
6X12 pulg. (150X300mm)			
Condiciones de laboratorio	2,40%	6,60%	7,80%
Condiciones de campo	2,90%	8,00%	9,50%
4X8 pulg. (100X200mm) Condiciones de laboratorio	3,20%	9%	10,60%

Fuente: (ACI, 2014)

Los tipos de fallas que existen en el concreto son de 6 tipos que mediante una inspección visual son analizadas e identificadas de acuerdo con su tipo de rotura.

Figura 16 Esquema de patrones de los tipos de rotura

Fuente: (ACI, 2014)

2.6 Fisuración del concreto

2.6.1 Fisuración del concreto en estado plástico

Fisuración por retracción plástica: Se da cuando el concreto pierde humedad muy rápido por diversos factores como el clima cálido, humedad relativa, velocidad del viento. Al combinarse estos factores, generan la evaporación rápida del agua de diseño (ACI 224, 1993). Ver Figura 16

Figura 17 Típica fisuración por retracción plástica

Fuente: (Price, 1982)

2.6.2 Fisuración del concreto endurecido

Retracción por secado: Se produce cuando la pasta cementicia pierde humedad y se puede llegar a contraer hasta 1%, sin embargo, por los agregados, quienes proveen una restricción interna, reducen este porcentaje a 0.06%. El concreto sufre muchos cambios de temperatura, por lo que tiende a contraerse cuando no cuenta con el agua suficiente para mantener una adecuada humedad, y se expande cuando está hidratado. Si esta retracción se produjera sin ninguna restricción, el concreto no llegaría a fisurarse. Esta combinación provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón éste se fisura. (ACI 224, 1993)

2.7 Definición de términos básicos

Curado

Mantener el concreto o el mortero a una temperatura y humedad adecuadas para asegurar su hidratación y endurecimiento adecuados.

Curado interno del concreto

Este tipo de curado consiste en almacenar agua al interior del concreto que no está disponible durante el mezclado o en las primeras etapas de hidratación, pero es liberada más tarde para el curado.

Curado sumergido en agua del concreto

Este curado consiste en seguir los procedimientos indicados en la Norma ASTM C 31. El cuál es el procedimiento para curar especímenes cilíndricos de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas 24 ± 8 horas después de elaborar los especímenes, éstos serían sacados de los moldes y se procede a realizar el curado por sumersión en agua que tenga una temperatura cercana a 21°C , para lo cual se puede saturar el agua con cal viva (ASTM C 31M-08a, 2008).

Absorción

La absorción de los agregados se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación de 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material y por diferencias de masa se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

Porosidad

La porosidad es una característica importante del concreto y de esta dependen en parte otras propiedades como la resistencia a la compresión y la durabilidad. Se sabe que la resistencia a la compresión es el dato más relevante para diseñar; asimismo, se debe tomar en cuenta la durabilidad.

Peso unitario del concreto

Se define como densidad del concreto a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material

La aplicación de este método va dirigido a construcciones de Lima provincia consideradas como formales debido a las 50 denuncias registradas por INDECOPI referentes a fisuras del concreto entre los años 2013 y 2014 (Quispe Napanga, 2018). Específicamente las construcciones de Lima Norte, debido a que cuenta con temperaturas altas en ciertos meses del año y el agua de la mezcla del concreto se evapora más rápido en condiciones de temperaturas altas. El promedio de temperatura normal registrado por Senamhi varía entre los 26.5°C en el mes de Febrero y 14.6°C en el mes de Septiembre (SENAMHI, 2018) . Según este mismo organismo, se registra mayor intensidad de lluvias (18mm/mes) en el mes de Julio (SENAMHI, 2018). Ver Figura 18.

Figura 18 Promedio de temperatura normal

Fuente: SENAMHI

Otra de las razones es el crecimiento inmobiliario de los últimos años en Lima Norte según Fondo MIVIVIENSA S.A. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013).

3.1.1 Población

La población a evaluar es el concreto para construcciones.

3.1.2 Muestra

Las muestras a evaluar son probetas cilíndricas de concreto de 6 x 12 pulgadas, 15 por cada porcentaje de reemplazo (15%, 21%) y otras 15 probetas para el concreto control.

3.2 Método

3.2.1 Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo porque se realizará el reemplazo parcial del agregado grueso por ladrillo triturado para disminuir fisuras y aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

3.2.2 Diseño de investigación

Esta investigación será de tipo experimental porque se realizarán ensayos y pruebas para demostrar la propuesta.

3.2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para las fisuras se utilizará una regla que permita medirlas en longitud (mm), además de realizar una inspección visual para contar el número de fisuras encontradas en las muestras control y las muestras de concreto con reemplazo parcial. En cuanto a la medición de resistencia a la compresión, se hará el ensayo de compresión a las probetas

a los 7, 14 y 28 días. Este ensayo se llevará a cabo en un laboratorio con la máquina de compresión FORNEY que permita someter a las probetas a una fuerza de compresión.

Los ensayos para la determinación de la calidad de los agregados fueron el análisis granulométrico de los agregados, material más fino que pasa el tamiz N°200

Análisis granulométrico de los agregados (ASTM C-136 / NTP400-012)

Este ensayo se realiza para determinar la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que conforman al agregado.

Tamaño Máximo (TM)

Se refiere al tamiz de menor dimensión por el cual pasa todo el agregado grueso. Es la malla inmediata – superior al tamaño máximo nominal.

Tamaño Máximo Nominal (TMN)

Es la malla que produce el primer retenido de la fracción gruesa en un rango de 5 a 10%. Es la malla inmediata – inferior del tamaño máximo

Módulo De Fineza (MF)

El módulo de fineza está dado por la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos de los tamices de la serie de Taylor ($3'' + 1\frac{1}{2}'' + 3/4'' + 3/8'' + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100$) dividido entre 100. Es un valor empírico adimensional el cual nos puede indicar que tan grandes o pequeñas pueden ser las partículas del agregado.

Procedimiento para el análisis del agregado fino:

El agregado debe contener cierta humedad, para evitar la segregación de partículas secas. Debemos obtener una muestra en estado seco de 500 gramos. En primer lugar, pesamos la muestra seca, luego lo lavamos por el tamiz #200 y luego dejamos secar al horno en periodo no menor de 24 horas. Por último, registramos el peso lavado y tamizamos.

Procedimiento para el análisis del agregado grueso:

El agregado grueso debe encontrarse en estado seco, o aparentemente seco para realizar el ensayo. La cantidad representativa que tomamos en nuestro ensayo al ser de TMN $\frac{1}{2}''$ fue de 2kg, de acuerdo a la tabla 10.

Tabla 10 Cantidad de muestra mínima

TMN	ASTM Y NTP
3/8"	1 kg.
1/2"	2 kg.
3/4"	5 kg.
1"	10 kg.
1 1/2"	15 kg.
2"	20 kg.

Fuente: NTP 400.012

- Material más fino que pasa el tamiz N°200 (ASTM C-117 / NTP400-018)

Este ensayo se realiza para determinar las cantidades de partículas finas contenidas en los agregados, ya que grandes cantidades pueden ser perjudiciales al concreto, evitando la adherencia del concreto a la superficie de los agregados.

Tabla 11 Cantidad de muestra mínima para el ensayo

TMN	PESO MÍN. g
1 1/2"	5000
3/4"	2500
3/8"	1000
≤ N° 4	300

Fuente: NTP 400.012

El procedimiento del ensayo consiste en tomar una muestra por cuarteo, secado al horno hasta peso constate. Luego tomar el peso inicial seco, transportar la muestra en un recipiente para pasar a estar completamente sumergida, adicionándole agua y remover ligeramente con los dedos para que los finos se suspendan, finalmente decantar toda el agua a través del tamiz #200. Este procedimiento se repite hasta que el agua quede clara. Luego el material retenido en la malla #200 se devuelve al recipiente y se pasa a llevarlo al horno hasta peso constante, luego de seco se vuelve a pesar el material.

$$\%Finos = \frac{PIS - PLS}{PIS} \times 100$$

Donde:

PIS= PESO INICIAL

PLS= PESO LAVADO SECO

Para agregado grueso % máximo de material debe ser 1%

Para agregado fino el % máximo de material fino debe ser de 5%

Los ensayos para la determinación de propiedades físicas de los agregados fueron el análisis granulométrico de los agregados, material más fino que pasa el tamiz N°200

- Contenido de humedad evaporable en los agregados por secado (ASTM C-566 / NTP 339.185)

La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación.

Para realizar el ensayo se debe de disponer de una muestra representativa del contenido de humedad, con una masa no menor a la contenida en la Tabla 12

Tabla 12 Cantidad de muestra mínima para el ensayo

Tamaño Máximo Nominal de Agregado milímetros (pulgadas)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal kg.
4.75	0.5
9.5mm.(3/8")	1.5
12.5mm.(1/2")	2.0
19.0mm.(3/4")	3.0
25.0mm.(1")	4.0
37.5mm.(1 1/2")	6.0
50.0mm.(2")	8.0
63.0mm.(2 1/2")	10.0
75.0mm.(3")	13.0

Fuente: NTP 339.185

El procedimiento para realizar es el siguiente: Se registra el peso húmedo del material, transportamos el material en un recipiente en el cual puede ser secado al horno evitando la pérdida de alguna partícula. Luego determinamos la masa de la muestra seca cuando a secado lo suficiente o está en peso no variable.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{P_{hum} - P_{sec}}{P_{sec} - P_{rec}} * 100$$

P_{hum} = Peso húmedo del agregado

P_{sec} = Peso seco del agregado

P_{rec} = Peso del recipiente que contiene al agregado

- Peso unitario suelto y compactado de los agregados (ASTM C-29 / NTP 400-017)

Es la cantidad de agregado o material que entra en 1m³ incluyendo sus vacíos, en estado suelto o compactado y con diferentes pesos.

El primer paso para realizar el ensayo es determinar el recipiente a usar según el TMN del agregado que se pretende ensayar de acuerdo a la tabla 13.

Tabla 13 Recipiente a usar (pie³)

TMN	RECIPIENTE A USAR (pie³)
3"	1
1 ½"	1/2
1"	1/3
½"	1/10

Fuente: NTP 400-017

Peso unitario suelto:

El material a ensayar no debe tener cohesión, deberá estar estado seco o aparentemente seco. Se debe tomar una muestra no menor a dos veces el volumen del recipiente a usar. Se llena el material dejando caer a una altura de 2" sobre el borde superior del molde, llenándose en exceso y luego se enraza con una regla metálica, finalmente se pesa.

Peso unitario compactado:

La muestra a ensayar debe estar seco o aparentemente seco y debe carecer de cohesión, se llenará el material en 3 capas de igual volumen, y por cada capa se compacta, finalmente enraza y pesar.

Sistema de compactación:

Método de apisonado o Chuseado: Este método se utiliza se tiene agregados menores a TMN de 1 ½” o cuando se utiliza envase máximo el de ½ pie³, consiste en compactar cada capa con 25 chuseadas con una varilla normalizada para luego golpear el exterior del molde con un martillo de goma para que los agujeros dejados por la varilla se cierren. Luego la segunda capa de tal forma que la varilla penetre 1” aproximadamente a la capa inferior, llenar la tercera capa en exceso y en la tercera capa se procede de la misma forma que la segunda capa.

$$\text{Peso Unitario Humedo} = \frac{\text{Peso del material kg}}{\text{Volumen del recipiente cm}^3}$$

$$\text{Peso Unitario Seco} = \frac{\text{Peso unitario humedo kg}}{1 + (\text{cont. de humedad}/100)}$$

- Peso específico y porcentaje de absorción de los agregados

El peso específico o densidad es la relación del peso del material entre el volumen que ocupa sin incluir vacíos.

El porcentaje de absorción es la cantidad de agua que puede absorber un agregado para llenar sus vacíos.

Peso específico del agregado fino ASTM C-128 / NTP 400.022:

Se procede a saturar aproximadamente 1kg de de agregado durante 24 horas. Luego se decanta el agua y se extiende el agregado a una superficie no absorbente y se deja que el agregado pierda humedad superficial gradualmente.

Luego se procede a probar en el cono introduciendo arena y apisonando 25 veces, cuando la arena se desmorone parcialmente se dice que el agregado se encuentra en una condición saturada con superficie seca, momento en el cual se toma 500 gr para el ensayo.

Seguidamente se coloca los 500 gr de agregado en condición SSS en una fiola de 500 cm³ de capacidad y de peso conocido. Se adiciona agua hasta la marca y se realiza giros con el fin de eliminar las burbujas de aire de la muestra y pesamos.

Finalmente se extrae la muestra y se coloca en un recipiente metálico de peso conocido y es secado en horno por 24 horas para su posterior toma de peso.

Figura 19 Estados de la humedad del agregado

Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 / NTP400.021:

Se toma una muestra representativa de acuerdo al TMN según la siguiente tabla.

Tabla 14 Peso mínimo de agregado grueso

TMN	PESO MÍNIMO kg.
< 1/2"	2
3/4"	3
1"	4
1 1/2"	5

Fuente: NTP 400-021

El procedimiento para obtener la cantidad es por cuarteo, de lo que retenga la malla #4 y saturarlo por 24 horas. Luego se deja decantar el agua y se toma el peso mínimo del material según el TMN del agregado en SSS, esto se obtiene secando el agregado grueso con una franela la superficie de las partículas. Seguidamente se sumerge en la canastilla metálica en un recipiente lleno de agua que estará acoplado a la balanza hidrostática, se registra el peso de la canastilla dentro del agua y se adiciona la muestra en SSS en la canastilla y pesamos.

Finalmente retiramos la muestra, lo colocamos en un recipiente dejándolo secar en el horno hasta peso constante y pesamos.

$$\begin{aligned}
 & \text{Peso específico de masa} \\
 &= \frac{\text{Peso de material seco}}{\text{Vol de la masa} + \text{Vol de vacíos}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peso específico SSS} &= \frac{\text{Peso de material SSS(en aire)}}{\text{Vol de la masa} + \text{Vol de vacíos}} \\
 &= \frac{\text{Peso específico aparente}}{\frac{\text{Peso de material seco}}{\text{Peso de material seco} - \text{Peso de material SSS(sumergido)}}} \\
 \text{Absorción} &= \frac{\text{Peso de material SSS(en aire)} - \text{Peso de material seco}}{\text{Peso de material seco}} \times 100
 \end{aligned}$$

3.2.4 Ensayos no destructivos para análisis de fisuras

3.2.4.1 Inspección visual

El proceso de inspección visual es el proceso de examen y evaluación de un sistema o sus componentes, en el cual se utilizan los sentidos humanos auxiliados con un dispositivo tecnológico que magnifica la capacidad sensorial del observador.

La inspección visual es la técnica IND más utilizada y en la industria es la que permite detectar el 80% de las grietas o defectos que se presentan en los componentes mecánicos o estructurales (Bray & McBride, 1992)

El ACI 314.16 para la determinación de la ubicación y magnitud de fisuración del hormigón utiliza el ensayo no destructivo de observación directa e indirecta donde todo se registra utilizando un esquema de la estructura.

Los anchos de las fisuras se pueden medir utilizando un comparador, que es un microscopio con una escala en el lente la cual tiene una precisión de alrededor de 0.025 mm.

Además, menciona la utilización de una tarjeta de comparación que consta de unas líneas marcadas cada una con un ancho especificado.

Figura 20 Comparador para medir anchos de fisuras

Fuente: (ACI, 2014)

Los exámenes visuales se realizarán según la sección XI del código ASME EV-1' que consiste en determinar las condiciones del componente o parte examinada que incluyen condiciones como: grietas, corrosión, erosión, desgaste o daño físico sobre la superficie.

3.2.4.2 Líquidos penetrantes

El ensayo por líquidos penetrantes es un ensayo no destructivo del tipo fisicoquímico que funciona bajo el fenómeno de capilaridad, permitiendo detectar, localizar, identificar y dar una idea de la dimensión de las discontinuidades superficiales que se presenta en las probetas sometidas a ensayos.

Este ensayo se basa en los principios de acción capilar y la capacidad de humectación de un líquido de baja viscosidad, propiedad que permite que se penetre por grietas imperceptibles a la vista.

Figura 21 Funcionamiento de un líquido penetrante

Fuente: (Baldarrago Berroa, 2015)

El líquido penetrante por utilizar debe tener las siguientes características:

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- Habilidad de permanecer en aberturas amplias.
- Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- Habilidad de extenderse en capas muy finas.
- Resistencia a la evaporación.
- De fácil remoción de la superficie.
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- De fácil absorción de la discontinuidad.
- No tóxico.
- Inodoro.
- No corrosivo.

- Anti inflamable.
- Estable bajo condiciones de almacenamiento.
- Costo razonable

La especificación militar MIL-1-6866 divide en seis métodos diferentes los líquidos penetrantes:

Tipo I. Penetrante fluorescente.

Método A Lavable con agua (grupo IV)

Método B Posemulsificables (grupo V y VI)

Método C Removible con solvente (grupo 1)

Tipo II. Penetrante visible.

Método A Lavable con agua (grupo III)

Método B Posemulsificables (grupo II)

Método C Removible con solvente (grupo I)

Como método de ensayo nosotros utilizaremos el tipo II que es un penetrante visible.

3.2.4.3 Método de prueba estándar para evaluar el agrietamiento por contracción plástica ASTM C1579.

Este método de prueba compara el agrietamiento de la superficie de los paneles de concreto con reemplazo de ladrillo triturado con el agrietamiento de los paneles de concreto de control sometido a condiciones prescritas de restricción y pérdida de humedad que son lo suficientemente graves como para producir el agrietamiento antes de la colocación final del concreto.

Este método de prueba evalúa los efectos de la evaporación, asentamiento y contracción plástica del concreto, los valores medidos obtenidos de esta prueba se pueden usar para comparar el rendimiento de los concretos conteniendo diversas proporciones de ladrillo triturado.

Las condiciones necesarias para la prueba son: Producir un ancho de grieta mínimo de 0.5 mm además de tener una tasa de evaporación de la superficie de 6,5% para cada prueba.

Las herramientas utilizadas para esta prueba son: moldes, elevadores de tensión y restricciones internas (chapa metálica doblada), desmoldante, ventiladores, cámara ambiental, sensores de temperatura humedad y velocidad, plataforma de vibración, equipos de acabado de superficie, bandeja de monitoreo para comprobar la evaporación del agua, escala, herramienta de medición de grietas.

Figura 22 Geometría de elevador de tensión y restricción interna

Fuente: (C1579, 2012)

La cuantificación de los anchos de las grietas en la superficie de los paneles se debe verificar a las 1, 2, 3, 24 horas después de la mezcla.

El cálculo del ratio de reducción del agrietamiento CRR por sus siglas en inglés (Crack Reduction Ratio) se realizara utilizando la siguiente ecuación.

$$CRR = \left[1 - \frac{\text{Ancho medio de grieta de concreto con \% de ladrillo}}{\text{Ancho medio de grieta de concreto control}} \right] * 100\%$$

3.2.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos cuantitativos se realizarán mediante tablas comparativas y/o métodos estadísticos utilizando pruebas estadísticas como ANOVA y la prueba de Tukey que usan el promedio, análisis de varianza, agrupación de valores, utilizando el software Minitab 18, con las que se obtendrán resultados de estos métodos

y graficas representativas para las muestras de concreto tradicional y las de concreto con un cierto porcentaje de reemplazo de ladrillo triturado.

4 RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos después de haber realizados los ensayos pertinentes en los laboratorios.

4.1 Propiedades físicas de los agregados

4.1.1 Características físicas del agregado fino

A continuación, se presentan en la tabla 15 el resumen de las propiedades físicas del agregado fino, los valores obtenidos se encuentran dentro de los estándares de las normas ASTM y NTP. Las propiedades detalladas se encuentran en el anexo N°1-A, D, G y J.

Tabla 15 Resumen de las propiedades físicas del agregado fino.

CARACTERISTICA	AGREGADO FINO
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.57 g/cm ³
PESO ESPECIFICO MASA	2.51 g/cm ³
PESO ESPECIFICO S. S. S	2.53 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO	1.64 g/cm ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1.92 g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.19%
ABSORCION (%)	1.01%
MODULO DE FINURA	3.47
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	2.25%

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Características físicas del agregado grueso

A continuación, se presentan en la tabla N°16 el resumen de las propiedades físicas del agregado fino, los valores obtenidos se encuentran dentro de los estándares de las normas ASTM y NTP. Las propiedades detalladas se encuentran en el anexo N°1-B, E, H y J.

Tabla 16 Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.73 g/cm ³
PESO ESPECIFICO MASA	2.66 g/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S	2.69 g/cm ³

PESO UNITARIO SUELTO	1.54 g/cm ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1.64 g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.47%
ABSORCION (%)	0.94%
MODULO DE FINURA	6.58
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N 200	0.32%

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Características físicas del ladrillo

A continuación, se presentan en la tabla N°17 el resumen de las propiedades físicas del ladrillo PIRAMIDE, los valores obtenidos se obtuvieron bajo los estándares de las normas ASTM y NTP. Las propiedades detalladas se encuentran en el anexo N°1-C, F e I

Tabla 17 Resumen de las propiedades físicas del ladrillo

CARACTERISTICA	LADRILLO
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.73 g/cm ³
PESO ESPECIFICO MASA	2.05 g/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S	2.30 g/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO	0.98 g/cm ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1.06 g/cm ³
ABSORCION (%)	14.14%
MODULO DE FINURA	7.60

Fuente: Elaboración propia

4.2 Diseño de mezcla

Para los diferentes diseños de mezcla se usó el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados y Juicio Experto.

Se llevaron a cabo 4 diseños de mezcla. El primero fue el diseño patrón, los demás diseños fueron elaborados con los siguientes porcentajes de reemplazo de ladrillo triturado: 15%, 21% y 27% La resistencia requerida para los diseños de mezcla fue de 280 Kg/cm².

En cuanto al cemento se detallan sus propiedades a continuación:

- Marca y Tipo:

CEMENTOS SOL-Cemento portland Tipo I, cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C- 150.

- Propiedades del Cemento:

Contenido de aire: 6.62%

Peso específico: 3.1 gr/cm³.

Primero se escogió la trabajabilidad (Slump) según la experiencia práctica y el aire atrapado con el cual trabajaremos según ACI 211.1-91. Se definió que para un de Slump 6"-7" se necesita 195 litros de agua de mezcla por m³ y de acuerdo con la siguiente tabla, el porcentaje de aire atrapado es 2.5.

Tabla 18 Agua en kg/m3 de concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia

ASENTAMIENTO	AGUA EN kg/m3 DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS NOMINAL MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO y CONSISTENCIA							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1"-2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3"-4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6"-7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Cont.aire atrap %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1" - 2"	181	175	168	160	150	112	122	107
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" - 7"	216	205	197	184	174	166	154	--
Cont.aire total %	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: ACI 211.1-91

Se definió que la relación de agua/ cemento sería de 0.5.

Para realizar el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados se aplica siguiente ecuación:

$$MF_{(P+A)} = \%P \times MF_P + \%A \times MF_A$$

Donde:

$MF_{(P+A)}$: Módulo de fineza de la combinación de agregados

MF_P : Módulo de fineza del agregado grueso (piedra).

MF_A : Módulo de fineza del agregado fino (arena).

$\%P$: Porcentaje de agregado grueso con relación al volumen absoluto total de agregado (piedra).

%A : Porcentaje de agregado fino con relación al volumen absoluto total de agregado (arena).

Con este método es posible determinar el valor del módulo de fineza de la combinación de agregados más conveniente para condiciones dadas de la mezcla.

Se propuso un $MF_{(P+A)}$: entre los valores de 5 a 5.2, basándonos en la experiencia práctica. Se reemplazaron en la ecuación los valores de módulos de fineza tanto global como de la piedra y la arena, estos dos últimos obtenidos en ensayos previos, y se colocó al porcentaje de arena en función al porcentaje de piedra y se obtuvieron los siguientes porcentajes:

$$\%P = 55.63\%$$

$$\%A = 44.37\%$$

A. Diseño 1: Patrón

Para este diseño se realizaron 9 probetas de 6"x12" y 3 probetas de 4"x8", estas muestras se sumergieron en agua. Se llevó a cabo la siguiente dosificación peso por metro cúbico:

- Agua: 178.3 lts/m³
- Cemento: 390 kg/m³
- Agregado Grueso: 918.1 kg/m³
- Agregado Fino: 750.6 kg/m³

B. Diseño 2: Ladrillo 15%

Para este diseño se realizaron 9 probetas de 6"x12" y 3 probetas de 4"x8", estas muestras se sumergieron en agua. Se llevó a cabo la siguiente dosificación peso por metro cúbico:

- Agua: 193.1 lts/m³
- Cemento: 390 kg/m³
- Agregado Grueso: 780.4 kg/m³
- Agregado Fino: 750.6 kg/m³
- Ladrillo triturado: 113.4 kg/m³

C. Diseño 3: Ladrillo 21%

Para este diseño se realizaron 9 probetas de 6"x12" y 3 probetas de 4"x8", estas muestras se sumergieron en agua. Se llevó a cabo la siguiente dosificación peso por metro cúbico:

- Agua: 193.1 lts/m³
- Cemento: 390 kg/m³
- Agregado Grueso: 725.3 kg/m³
- Agregado Fino: 750.6 kg/m³
- Ladrillo triturado: 192.8 kg/m³

D. Diseño 4: Ladrillo 27%

Para este diseño se realizaron 9 probetas de 6"x12" y 3 probetas de 4"x8", estas muestras se sumergieron en agua. Se llevó a cabo la siguiente dosificación peso por metro cúbico:

- Agua: 193.1 lts/m³
- Cemento: 390 kg/m³
- Agregado Grueso: 670.21 kg/m³
- Agregado Fino: 750.6 kg/m³
- Ladrillo triturado: 247.88 kg/m³

4.3 Análisis de costo unitario por m³ de concreto

Tabla 19 Propiedades del concreto en estado fresco

		CONCRETO CONVENCIONAL				CONCRETO AUTOCURADO			
		UND	METRADO	P.U.	PARCIAL	UND	METRADO	P.U.	PARCIAL
Agua		m3	0.20	2.83	0.57	m3	0.20	2.83	0.57
Cemento		bls	9.18	22.20	203.80	bls	9.18	22.20	203.80
Ag. Grueso		kg	884.10	0.14	123.77	kg	725.30	0.14	101.54
Ladrillo Triturado		kg	-	-	-	kg	158.80	0.23	36.52
Ag. Fino		kg	750.60	0.15	112.59	kg	750.60	0.15	112.59
M.O.mezcla		hh	2.00	15.00	30.00	hh	3.00	15.00	45.00
Trompo (70 lt)		hm	1.00	4.02	4.02	hm	1.00	4.02	4.02
Curado	M.O.	hm	0.50	15.00	7.50	hm	-	-	-
	Agua	m2	1.00	2.83	2.83	m2	-	-	-
	Mantenimiento	ml	1.00	76.00	76.00	ml	-	-	-
TOTAL					561.75				504.04

Fuente: Propia

4.4 Propiedades físicas del concreto en estado fresco

Tabla 20 Propiedades del concreto en estado fresco

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO		
DISEÑO	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	SLUMP (")
1: Control	30.95	6
2: 15% L	31.23	6
3: 21% L	30.65	6
4: 27% L	30.31	6

Fuente: Propia

La temperatura obtenida se encuentra dentro del rango solicitado por las normas ASTM C-1064 / NTP 339.184 (menor a 10°C ni mayor a 32°C). Con respecto al asentamiento (Slump), se cumplió con el procedimiento establecido por la norma ASTM C-143 cumple con el slump establecido en el diseño de mezcla realizado previamente.

4.5 Propiedades físicas del concreto en estado endurecido

4.5.1 Resistencia a la compresión

Tabla 21 Propiedades del concreto en estado endurecido de los Diseños 1; 2; 3; 4 a los 7, 21 y 28 días de prueba

DISEÑO	DÍAS	ESFUERZO (kg/cm2)	%
1	7	256.58	91.6%
	21	273.49	97.7%
	28	341.65	122.0%
2	7	218.92	78.2%
	21	234.40	83.7%
	28	261.55	93.4%
3	7	249.35	89.1%
	21	262.16	93.6%
	28	355.55	127.0%
4	7	222.07	79.3%
	21	237.89	85.0%
	28	256.93	91.8%

Fuente: Propia

Se utilizaron tres especímenes por cada diseño (control, 2, 3 y cuatro por diseño), y se desarrolló el ensayo de compresión de acuerdo con las normas ASTM C39 / NTP 339.034. En el Anexo 2 se muestran los diferentes resultados que se obtuvieron.

Tabla 22 Propiedades del concreto con un porcentaje de reemplazo parcial de ladrillo triturado a los 7, 21 y 28 días de prueba:

TIEMPO (DIAS)	LADRILLO 15% (kg/cm ²)	LADRILLO 21% (kg/cm ²)	LADRILLO 27% (kg/cm ²)
7 DIAS	218.92	249.35	222.07
21 DIAS	234.40	262.16	237.89
28 DIAS	261.55	355.55	256.93

Fuente: Propia

Figura 23 Gráfico comparativo de resistencia máxima del ensayo a compresión del concreto con diferentes porcentajes de ladrillo triturado vs. tiempo

Fuente: Propia

A los 7 días de rotura, el diseño 1 alcanzó la mayor resistencia a la compresión a comparación de los demás diseños, y el menor fue el diseño 2.

El día 21, el diseño 1 continuó teniendo una resistencia mayor a comparación de los demás diseños y el menor fue el diseño 2. Sin embargo, el día 28, el diseño que presenta mayor resistencia a la compresión es el diseño 3 de porcentaje de reemplazo de ladrillo de 21%.

Figura 24 Grafico comparativo de la resistencia a la compresión de acuerdo al porcentaje de ladrillo triturado vs Resistencia.

Fuente: Propia

Del grafico se puede observar que la mezcla optima será el diseño con porcentaje de reemplazo parcial del agregado grueso por ladrillo triturado de 21%.

Figura 25 Grafico comparativo del comportamiento de la resistencia a la compresión en el tiempo entre la mezcla optima (21%) y la mezcla de control

Fuente: Propia

Se verifica un comportamiento similar en cuanto a la maduración en el tiempo de las probetas de concreto.

4.5.2 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del concreto endurecido, se hizo la comparación en cuanto la mezcla optima con reemplazo de ladrillo triturado y el concreto convencional a los 28 días.

Figura 26 Grafico comparativo de la resistencia a la flexión del concreto a los 28 días.

Fuente: Propia

4.5.3 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad para las probetas de concreto realizadas con diferentes porcentajes de ladrillo triturado y el concreto convencional fue hallado a los 28 días de maduración mediante la fórmula que nos provee norma E0.60 de concreto armado, que nos dice que el Módulo de elasticidad está en función de la resistencia a la compresión del concreto, mediante la fórmula siguiente:

$$E = 15000x\sqrt{f'c}$$

Figura 27 Grafico de módulo de elasticidad vs mezcla

Fuente: Propia

El módulo de elasticidad al estar en función de la resistencia a la compresión, se da de por sí que el de mayor Módulo de elasticidad es el concreto autocurado con porcentaje de ladrillo triturado con 21%, siguiendo el concreto de control, el concreto con 15% y finalmente el concreto con 27% de reemplazo.

4.6 Slump vs Temperatura

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en laboratorio de Slump y temperatura a lo largo del tiempo, en este caso por 2 horas, los datos fueron tomados cada 30 minutos.

4.6.1 Análisis slump vs temperatura: Control $f'c$ 280 kg/cm²

Tabla 23 Slump vs Temperatura Diseño control $f'c$ 280 kg/cm²

TIEMPO (min)	TEMPERATURA °C	SLUMP (pulg)
0	24.5	7
30	24.7	6
60	24.8	4
90	25	2
120	25.1	1

Fuente: Propia

Figura 28 Slump vs Temperatura Control $f'c$ 280 kg/cm²

Fuente: Propia

4.6.2 Análisis slump vs temperatura: 21% ladrillo triturado f'c 280 kg/cm2

Tabla 24 Slump vs temperatura: 21% ladrillo triturado f'c 280 kg/cm2

TIEMPO (min)	TEMPERATURA °C	SLUMP (pulg)
0	24.8	7
30	24.9	5
60	25	4
90	25.2	3
120	25.3	1

Fuente: Propia

Figura 29 Slump vs temperatura: 21% ladrillo triturado f'c 280 kg/cm2

Fuente: Propia

4.7 Contracción plástica ASTM C1579

De acuerdo a esta norma, estas son las condiciones mínimas que deben darse para realizar este ensayo:

Tabla 25 Criterios de aceptación de norma ASTM C1579

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN ASTM C1579	
Tasa de evaporación	1kg/m2.h
Velocidad del viento	4.0-6.0 m/s
Temperatura	36+/-3°C
Humedad Relativa	30+/-10°C
Ancho promedio de fisura	0.5mm

Fuente: Propia

Estos son los resultados que se obtuvieron luego de la toma de datos:

Tabla 26 Fisuras en el tiempo Diseño control y 21% ladrillo triturado

TIEMPO MIN	DISEÑO CONTROL F'C 280 KG/CM2	21% LADRILLO TRITURADO F'C 280 KG/CM2	CRR
0	0.0000	0.0000	
30	0.0000	0.0000	
60	0.0508	0.0508	0.00%
90	0.2032	0.1524	25.00%
120	0.3048	0.2540	16.67%
150	0.4572	0.3556	22.22%
180	0.6604	0.4064	38.46%
1440	0.8128	0.5080	37.50%

Fuente: Propia

Figura 30 Fisuras en el tiempo Diseño control vs 21%Ladrillo triturado f'c 280 kg/cm2

Fuente: Propia

A partir de los datos del ensayo, se obtiene el valor de la relación de reducción de agrietamiento (CRR), que se obtiene de la siguiente ecuación planteada por la norma ASTM C1579.

$$CRR = \left[1 - \frac{\text{Average Crack Width of Fiber Reinforced Concrete Mixture}}{\text{Average Crack Width of Control Concrete Mixture}} \right] \times 100 \%$$

En la siguiente figura se muestra como a lo largo del tiempo, el CRR varía y aumenta progresivamente a partir del minuto 60, donde sufre un quiebre negativo y vuelve a ascender hasta el minuto 1440 (24horas).

Figura 31 CRR en el tiempo

Fuente: Propia

5 ANALISIS DE DATOS

5.1 Análisis estadístico de la resistencia a la compresión a los 7 días

Se realizó el análisis de la varianza ANOVA unidireccional de la variable Resistencia a la compresión ($f'c$) de los datos del ANEXO 2, además se realizó la prueba de TUKEY para observar la diferencia estadística entre el concreto curado sumergido y el concreto autocurado reemplazando ladrillo en diferentes porcentajes en reemplazo del agregado grueso.

Tabla 27 Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días

FACTOR	NIVELES	VALORES			
Factor	4	CS; LAD15%; LAD21%; LAD27%			

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
Factor	3	3255.6	1085.2	38.62	0
Error	8	224.8	28.1		
Total	11	3480.4			

Fuente: Propia

Con significación estadística en el análisis estadístico ANOVA ($0.01 < P < 0.05$), ** con alta significancia estadística en el ANOVA ($P < 0.01$; ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (grados de libertad); SCajust (Suma de cuadrados ajustado); CMAjust (Cuadrado medio ajustado); F (F calculado) P(probabilidad).

Tabla 28 Media de la resistencia a la compresión del concreto a 7 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CS	3	256.58	5.18	(249.53; 263.64)
LAD15%	3	218.92	7.19	(211.87; 225.98)
LAD21%	3	249.35	5.05	(242.29; 256.40)
LAD27%	3	222.07	2.89	(215.02; 229.13)

Fuente: Propia

Tabla 29 Agrupación de las medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días, con el método de TUKEY y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación	
CS	3	256.58	A	
LAD21%	3	249.35	A	
LAD27%	3	222.07		B
LAD15%	3	218.92		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Propia

Figura 32 Gráfica de intervalos para agrupación de la resistencia a la compresión a los 7 días

Fuente: Propia

Figura 33 Gráfica de valores individuales de la resistencia a la compresión a los 7 días

Fuente: Propia

Analizando los resultados del análisis de varianza ANOVA se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo una importante diferencia estadística en cuanto a las medias del concreto curado y concreto auto-curado con diferentes porcentajes de reemplazo de ladrillo triturado.

De acuerdo a las pruebas de rango múltiple de TUKEY se ve que los 4 distintos curados son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la tabla 22, se observa que el curado que muestra superioridad en cuanto a la resistencia de concreto es el Concreto auto-curado con reemplazo parcial de ladrillo triturado en 21%, y le siguen el concreto sumergido, el concreto auto-curado con 27%, finalmente el concreto auto-curado con 15%

5.2 Análisis estadístico de la resistencia a la compresión a los 21 días

Se realizó el análisis de la varianza ANOVA unidireccional de la variable Resistencia a la compresión ($f'c$) de los datos del ANEXO 2, además se realizó la prueba de TUKEY para observar la diferencia estadística entre el concreto curado sumergido y el concreto autocurado reemplazando ladrillo en diferentes porcentajes en reemplazo del agregado grueso.

Tabla 30 Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días

Factor	Niveles	Valores			
Factor	4	CS; LAD15%; LAD21%; LAD27%			

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	3221.9	1073.97	120.21	0
Error	8	71.47	8.93		
Total	11	3293.37			

Fuente: Propia

Con significación estadística en el análisis estadístico ANOVA ($0.01 < P < 0.05$), ** con alta significancia estadística en el ANOVA $P < 0.01$; ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (grados de libertad); SCajust (Suma de cuadrados ajustado); CMAjust (Cuadrado medio ajustado); F (F calculado) P(probabilidad).

Tabla 31 Media de la resistencia a la compresión del concreto a 21 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CS	3	273.49	2.08	(269.51; 277.47)
LAD15%	3	234.4	2.33	(230.42; 238.38)
LAD21%	3	262.16	4.43	(258.18; 266.14)
LAD27%	3	237.89	2.51	(233.91; 241.87)

Fuente: Propia

Tabla 32 Agrupación de las medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días, con el método de TUKEY y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación		
CS	3	273.49	A		
LAD21%	3	262.16		B	
LAD27%	3	237.89			C
LAD15%	3	234.4			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Propia

Figura 34 Gráfica de intervalos para agrupación de la resistencia a la compresión a los 21 días

Fuente: Propia

Figura 35 Gráfica de valores individuales de la resistencia a la compresión a los 21 días

Fuente: Propia

Analizando los resultados del análisis de varianza ANOVA se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo una importante diferencia estadística en cuanto a las medias del concreto curado y concreto auto-curado con diferentes porcentajes de reemplazo de ladrillo triturado.

De acuerdo a las pruebas de rango múltiple de TUKEY se ve que los 4 distintos curados son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la tabla 26, se observa que el curado que muestra superioridad en cuanto a la resistencia de concreto es el concreto sumergido (CS), le sigue el Concreto auto-curado con reemplazo parcial de ladrillo triturado en 21%, y el concreto auto-curado con 27%, finalmente el concreto auto-curado con 15%

5.3 Análisis estadístico de la resistencia a la compresión a los 28 días

Se realizó el análisis de la varianza ANOVA unidireccional de la variable Resistencia a la compresión (f'_c) de los datos del ANEXO 2, además se realizó la prueba de TUKEY para observar la diferencia estadística entre el concreto curado sumergido y el concreto

auto-curado reemplazando ladrillo en diferentes porcentajes en reemplazo del agregado grueso.

Tabla 33 Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	CS; LAD15%; LAD21%; LAD27%

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	23619	7873.02	188.12	0
Error	8	334.8	41.85		
Total	11	23953.9			

Fuente: Propia

Con significación estadística en el análisis estadístico ANOVA ($0.01 < P < 0.05$), ** con alta significancia estadística en el ANOVA ($P < 0.01$; ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL(grados de libertad); SCajust (Suma de cuadrados ajustado); CMAjust (Cuadrado medio ajustado); F (F calculado) P(probabilidad).

Tabla 34 Media de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CS	3	341.65	8.97	(333.03; 350.26)
LAD15%	3	261.55	2.63	(252.93; 270.16)
LAD21%	3	355.55	4.07	(346.93; 364.16)
LAD27%	3	259.31	7.96	(250.69; 267.92)

Fuente: Propia

Tabla 35 Agrupación de las medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días, con el método de TUKEY y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación	
LAD21%	3	355.55	A	
CS	3	341.65	A	
LAD15%	3	261.55		B
LAD27%	3	259.31		B

Fuente: Propia

Figura 36 Gráfica de intervalos para agrupación de la resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: Propia

Analizando los resultados del análisis de varianza ANOVA se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo una importante diferencia estadística en cuanto a las medias del concreto curado y concreto autocurado con diferentes porcentajes de reemplazo de ladrillo triturado.

De acuerdo a las pruebas de rango múltiple de TUKEY se ve que los 4 distintos curados son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la tabla 29, se observa que el curado que muestra superioridad en cuanto a la resistencia de concreto es el Concreto auto-curado con reemplazo parcial de ladrillo triturado en 21%, y le siguen el concreto sumergido, el concreto auto-curado con 27%, finalmente el concreto auto-curado con 15%

6 CONCLUSIONES

- El porcentaje de absorción del ladrillo triturado es satisfactoria. Este logra absorber aproximadamente 13 veces más que un agregado normal, esta propiedad será vital para el auto-curado del concreto.

- Se concluye que la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia a la flexión con el reemplazo parcial de ladrillo triturado del diseño 3 aumentó a comparación del concreto control.
- Se obtuvo una relación de reducción de grietas (CRR) favorable en cuanto a la contracción plástica en los diseños con ladrillo triturado a comparación del diseño control.
- El emplear agregados reciclados reduce el costo por m³ del concreto. Iffat, menciona que se usa LECA en la india debido a su bajo costo a diferencia de los agregados.
- Mediante la prueba de ANOVA se verifica que el contenido de agua absorbida por el ladrillo triturado está estrechamente relacionado con la resistencia a la compresión del concreto.
- Según los resultados de nuestra investigación, el concreto con ladrillo triturado puede ser utilizado como cualquier otro concreto, siempre y cuando el porcentaje de ladrillo triturado como reemplazo parcial de agregado grueso no sobrepase el 21 %.
- La influencia del ladrillo triturado en el concreto no hace una diferencia significativa en cuanto a la trabajabilidad y temperatura, ya que tiene similar comportamiento en el tiempo al Diseño Control.
- Cuando se desee utilizar el ladrillo triturado en el concreto, previamente se debe de realizar los análisis respectivos como sus propiedades físicas (porcentaje de absorción), ya que estas varían de acuerdo con el lugar donde se fabrican y de acuerdo a los materiales utilizados (tipo de tierra, arcilla).
- Finalmente se concluye que el ladrillo triturado se puede utilizar como agregado grueso en el concreto para mejora las propiedades mecánicas, además de abaratar el costo.

7 RECOMENDACIONES

- Cuando se desee utilizar el ladrillo virgen triturado en el concreto, previamente se debe de realizar los análisis respectivos como sus propiedades físicas, ya que estas varían de acuerdo al lugar donde se fabrican y de acuerdo a los materiales utilizados.
- Utilizar este método reemplazando otro tipo de agregados livianos, que puedan contribuir a disminuir los impactos ambientales de la construcción.
- Utilizar este método para investigar otros materiales con fines académicos y económicos

- Analizar con un diferente tipo de TMN de ladrillo triturado en el diseño de la mezcla, para ver la influencia del tamaño y la absorción producida a menor tamaño o mayor.
- Se propone realizar 11 diseños de mezcla adicionales a las ya realizadas, para poder comparar entre más de una resistencia ($f'c$ 210 kg/cm² y $f'c$ 350 kg/cm²) y con un tipo de cemento diferente al ya usado (Tipo I), optar por el tipo IP.
- Realizar el diseño de concreto triturado con ladrillo de distinto TMN 1”

8 REFERENCIAS

- A, R. G., & Sivaraja, M. (2016). Experimental Investigation on Self-Compacting Self-Curing concrete incorporated with the light weight aggregates. *Engineering, Technology and Techniques*, 2.
- ACI. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- ACI 224. (1993). Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón. *ACI 224.1R-93*, 1-24.
- Baldarrago Berroa, R. (2015). *Inspeccion visual y liquidos penetrantes en uniones soldadas*. Arequipa.
- Bashandy, A. A. (2016). Self-curing concrete under sulfate attack. *Archives of civil engineering*, 4-20.
- Benz, D., & Snyder, K. (1999). Protected paste volume in concrete extension to internal curing using saturated light weight fine aggregate. *Cem. Concr.*, 1863–1867.
- CAPECO. (26 de Septiembre de 2017). Capeco: El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerables a un terremoto. *RPP Noticias*.
- CAPECO. (2018). *Informe economico de la construccion*. Lima: CAPECO.
- Castro, J., De la Varga, I., Golias, M., & Weiss, W. (2010). Extending Internal Curing Concepts to Mixtures Containing High Volumes of Fly Ash. *Internacional Bridge Conference*.
- Dale P., B., & W. Jason, W. (2011). *Internal Curing: A 2010 State of the art review*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology .

- Gartner, E. M., Damidot, D., Young, J. F., & Jawed, I. (2001). *Structure and Performance of Cements*. London: CRC Press.
- Guima, K. V. (2002). *Factibilidad y estudio de las propiedades del concreto de baja resistencia adicionando cal*. Lima: UNI.
- Huanca, S. L. (10 de Octubre de 2018). *Diseños de Mezclas de Concreto*. Obtenido de <https://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>
- Iffat, S., Manzur, T., & Noor, M. A. (2016). Durability Performance of Internally Cured Concrete Using Locally Available Low Cost LWA. *KSCE Journal of civil Engineering* , 1256-1263.
- Iffat, S., Tanvir, M., Sayedur, R., Ahmed, N. M., & Nur, Y. (2017). Optimum Proportion of Masonry Chip Aggregate for Internally. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 513-524.
- Kosmatka, Steven H, Kerkhoff, Beatrix, & Panarese, William C. (2002). *Design and control of concrete mixtures*. Illinois, USA: Portland Cement Association.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). Expansión urbana en Lima Norte. *Mi Vivienda*, 16.
- Mousa, M. I., Mahdy, M. G., Abdel-Reheem, A. H., & Yehia, A. Z. (2015). Self-curing concrete types; water retention and durability. *Alexandria Engineering Journal*, 565-575.
- Mr. K. J. Kucche, D. S. (2015). Quality of Water for Making Concrete:A Review of Literature. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2250-3153.
- Neville, A. (2010). *Tecnologia de concreto*. Sao Paulo: Grupo a Educacao S.A.
- Neville, A. N. (2013). *Tecnologia del concreto*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi .
- Ole, M. J., & Pietro, L. (2006). Techniques and materials for internal water curing of concrete. *Mater. Struct.*, 817-825.

- Price, W. H. (1982). Control of Cracking During Construction. *Concrete International: Design and Construction*, 4(1), 40-43.
- Quispe Napanga, K. G. (06 de 09 de 2018). *APLICACIÓN DE TÉCNICAS SOSTENIBLES DE REPARACIÓN DE LA FISURACIÓN DEL CONCRETO ARMADO EN EDIFICACIONES*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/325534391_APLICACION_DE_TECNICAS_SOSTENIBLES_DE_REPARACION_DE_LA_FISURACION_DEL_CONCRETO_ARMADO_EN_EDIFICACIONES?enrichId=rgreq-6b2ad7f6f4e282ec20eb02dabda54c0a-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM5NTUzNDM5MTtBUzo2MzMx
- Rajamanickam, G., & Vaiyapuri, R. (2016). Self compacting self curing concrete with lightweight aggregates. *Gradevinar*, 279-285.
- Rakesh A. More, S. D. (2014). Effect of Different Types of Water on Compressive Strength of Concrete. *International Journal on Emerging Technologies*, 40-50.
- SENAMHI. (24 de 09 de 2018). *Tiempo/Pronóstico del tiempo*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle>
- UNACEM. (17 de 02 de 2015). *UNACEM*. Obtenido de UNACEM: <http://www.asocem.org.pe/productos-a/el-mercado-de-cemento-en-el-peru>
- Wang, J., Zhang, J., Ding, X., & Zhang, J. (2017). Effect of cementitious permanent formwork on moisture field of internal-cured concrete under drying. *Mech Time-Depend Mater*, 225-234.
- Wang, Q., Li, M., & Zhang, B. (2014). Influence of pre-curing time on the hydration of binder and the properties of concrete under steam curing condition. *J Therm Anal Calorim*, 118:1505-1512.
- Zhang, J. H. (2016). Evaluation of shrinkage induced cracking in concrete with impact of internal curing and water to cement ratio. *J. Adv. Concr. Technol.*, 93-104.
- Zhutovsky, S., & Kovle, K. (2012). Effect of internal curing on durability- related properties of high performance concrete. *Cement and Concrete Research*, 20-26.

9 ANEXOS

ANEXO 1: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

A. Análisis granulométrico del agregado fino

Tabla 36 Análisis granulométrico del agregado fino. Primer ensayo.

Tamiz #	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	Requisitos granulométricos del agregado fino	
1"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
Nº4	22.20	0.04	0.04	0.96	89.00	100.00
Nº8	102.10	0.20	0.25	0.75	80.00	100.00
Nº16	130.60	0.26	0.51	0.49	50.00	85.00
Nº30	125.50	0.25	0.76	0.24	25.00	60.00
Nº50	78.70	0.16	0.92	0.08	10.00	30.00
Nº100	33.30	0.07	0.99	0.01	2.00	10.00
FONDO	6.40	0.01	1.00	0.00		
Peso inicial seco	498.80					
Módulo de finura	3.47					

Fuente: Propia

Figura 37 Granulometría del agregado fino según la ASTM C-136

Fuente: Propia

Tabla 37 Análisis granulométrico del agregado fino. Segundo ensayo.

Tamiz #	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	Requisitos granulométricos del agregado fino	
1"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
Nº4	21.00	0.04	0.04	0.96	89.00	100.00
Nº8	101.50	0.20	0.25	0.75	80.00	100.00
Nº16	131.50	0.26	0.51	0.49	50.00	85.00
Nº30	126.10	0.25	0.76	0.24	25.00	60.00
Nº50	79.60	0.16	0.92	0.08	10.00	30.00
Nº100	33.50	0.07	0.99	0.01	2.00	10.00
FONDO	6.40	0.01	1.00	0.00		
Peso inicial seco	499.60					
Módulo de finura	3.46					

Fuente: Propia

Figura 38 Granulometría del agregado fino según la ASTM C-136

Fuente: Propia

Tabla 38 Análisis granulométrico del agregado fino. Tercer ensayo.

Tamiz #	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	%Acumulado que pasa	Requisitos granulométricos del agregado fino	
1"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	1.00	100.00	100.00
Nº4	22.60	0.05	0.05	0.95	89.00	100.00
Nº8	102.90	0.21	0.25	0.75	80.00	100.00
Nº16	131.50	0.26	0.51	0.49	50.00	85.00
Nº30	125.50	0.25	0.76	0.24	25.00	60.00
Nº50	78.50	0.16	0.92	0.08	10.00	30.00
Nº100	33.20	0.07	0.99	0.01	2.00	10.00
FONDO	6.10	0.01	1.00	0.00		
Peso inicial seco	500.30					
Módulo de finura	3.48					

Fuente: Propia

Figura 39 Granulometría del agregado fino según la ASTM C-136

Fuente: Propia

$$MF = \frac{\sum \%R. Ac. 3+1\ 1/2''+3/4'' + 3/8'' + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

$$MF\ 1 = \frac{44.45 + 24.92 + 51.1 + 76.26 + 92.04 + 98.72}{100}$$

$$MF\ 1 = \frac{347}{100}$$

$$MF\ 1 = 3.47$$

$$MF\ 2 = \frac{42 + 24.52 + 50.84 + 76.08 + 92.01 + 98.72}{100}$$

$$MF\ 2 = \frac{346}{100}$$

$$MF\ 2 = 3.46$$

$$MF\ 3 = \frac{45.2 + 25.08 + 51.37 + 76.45 + 92.14 + 98.78}{100}$$

$$MF\ 3 = \frac{348}{100}$$

$$MF\ 3 = 3.48$$

El módulo de finura promedio del agregado fino es: MF= 3.47

B. Análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 39 Análisis granulométrico del agregado grueso. Primer ensayo.

Tamiz #	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	%Acumulado que pasa	A. grueso huso 67	
					L. inferior	L. superior
3"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
2,5"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
2"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
1,5"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
1"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
3/4"	4.80	0.00	0.00	1.00	90	100
1/2"	697.90	0.35	0.35	0.65	55	80
3/8"	407.90	0.20	0.56	0.44	20	55
Nº4	854.90	0.43	0.98	0.02	0	10
Nº8	31.70	0.02	1.00	0.00	0	5
FONDO	3.20	0.00	1.00	0.00	0	0
Peso inicial	2000.40					

seco	
MF	6.54

Fuente: Propia

Figura 40 Granulometría del agregado grueso con el HUSO 67 según la ASTM C-136

Fuente: Propia

Tabla 40 Análisis granulométrico del agregado grueso. Segundo ensayo

Tamiz N°	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	%Acumulado que pasa	A. grueso huso 67	
					L. inferior	L. superior
3"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
2,5"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
2"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
1,5"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
1"	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
3/4"	20.90	0.01	0.01	0.99	90	100
1/2"	871.30	0.44	0.45	0.55	55	80
3/8"	412.30	0.21	0.65	0.35	20	55
Nº4	669.70	0.33	0.99	0.01	0	10
Nº8	24.60	0.01	1.00	0.00	0	5
FONDO	2.10	0.00	1.00	0.00	0	0
Peso inicial seco	2000.90					
MF	6.65					

Fuente: Propia

Figura 42 Granulometría del agregado grueso con el HUSO # según la ASTM C-136

Fuente: Propia

$$MF = \frac{\sum \%R. Ac. 3+1 \frac{1}{2}'' + 3/4'' + 3/8'' + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

$$MF 1 = \frac{0.24 + 55.52 + 98.26 + 99.84 + 400}{100}$$

$$MF 1 = \frac{654}{100}$$

$$MF 1 = 6.54$$

$$MF 2 = \frac{1.04 + 65.2 + 98.67 + 99.9 + 400}{100}$$

$$MF 2 = \frac{665}{100}$$

$$MF 2 = 6.65$$

$$MF 3 = \frac{59.69 + 96.9 + 99.87 + 400}{100}$$

$$MF 3 = \frac{656}{100}$$

$$MF 3 = 6.56$$

El módulo de finura promedio del agregado grueso es: MF= 6.58

C. Análisis granulométrico del ladrillo

Tabla 42 Análisis granulométrico del ladrillo. Primer ensayo

Tamiz #	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	%Acumulado que pasa
3"	0.00	0.00	0.00	1.00
2,5"	0.00	0.00	0.00	1.00
2"	0.00	0.00	0.00	1.00
1,5"	78.20	0.03	0.03	0.97
1"	1321.40	0.53	0.56	0.44
3/4"	428.10	0.17	0.73	0.27
1/2"	344.10	0.14	0.87	0.13
3/8"	99.60	0.04	0.91	0.09
Nº4	130.20	0.05	0.96	0.04
Nº8	0.00	0.00	0.96	0.04
FONDO	94.80	0.04	1.00	0.00
Peso inicial seco	2496.40			
MF	7.60			

Fuente: Propia

Figura 43 Granulometría del agregado grueso según la ASTM C-136

Fuente: Propia

$$MF = \frac{\sum \%R. Ac. 3+1 1/2" + 3/4" + 3/8" + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

$$MF 1 = \frac{3.13 + 56.06 + 73.21 + 87 + 90.99 + 96.2 + 96.2 + 400}{100}$$

$$MF 1 = \frac{760}{100}$$

$$MF 1 = 7.6$$

El módulo de finura promedio del ladrillo es: 7.60

D. Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 43 Peso específico y absorción del agregado fino

AGREGADO FINO ASTM C-187/ NTP 400.022				
IDENTIFICACION DEL AGREGADO		PROCEDENCIA		
CODIGO	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
A	NUMERO DE FIOLA	1	2	3
B	PESO FIOLA CON AGUA DESTILADA (HASTA LA MARCA)	666.50	664.20	667.30
C	PESO DE LA MUESTRA SSS	500.10	500.90	499.20
D	PESO FIOLA + AGUA + MUESTRA SSS	968.70	968.70	968.70
E	IDENTIFICACION DEL RECIPIENTE	A	B	C
F	PESO DEL RECIPIENTE	146.10	146.40	147.10
G	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECADA AL HORNO	641.60	641.60	641.60
H	PESO DE LA MUESTRA SECA AL HORNO G-F	495.50	495.20	494.50
F	PESO ESPECIFICO DE MASA H/(B+C-D)	2.50	2.52	2.50
G	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) C/(B+C-D)	2.53	2.55	2.52
H	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) H/(B+H-D)	2.56	2.60	2.56
F	% ABSORCION ((C-H)/H)*100	0.93%	1.15%	0.95%

Fuente: Propia

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = \frac{2.50 + 2.52 + 2.50}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = 2.51 \text{ g/cm}^3$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = \frac{2.53 + 2.55 + 2.52}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = 2.53 \text{ g/cm}^3$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = \frac{2.56 + 2.60 + 2.56}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = 2.57 \text{ g/cm}^3$$

$$\%Absorcion = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$\%Absorcion = \frac{0.93 + 1.15 + 0.95}{3}$$

$$\%Absorcion = 1.01 \%$$

E. Peso específico y absorción del agregado grueso

Tabla 44 Peso específico y absorción del agregado grueso

AGREGADO GRUESO ASTM C-127/ NTP 400.021				
IDENTIFICACION DEL AGREGADO		PROCEDENCIA		
CODIGO	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
A	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (EN AIRE)	2011.00	2005.30	2009.50
B	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SUMERGIDO)	1262.60	1260.80	1261.30
C	VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS (A-B)	748.40	744.50	748.20
D	PESO DE MATERIAL SECO	1992.50	1987.20	1990.20
E	PESO ESPECIFICO DE MASA D/C	2.66	2.67	2.66
F	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) A/C	2.69	2.69	2.69
G	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) D/(D-B)	2.73	2.74	2.73
H	ABSORCION ((A-D)/D)*100	0.93%	0.91%	0.97%

Fuente: Propia

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = \frac{2.66 + 2.67 + 2.66}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = 2.66 \text{ g/cm}^3$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = \frac{2.69 + 2.69 + 2.69}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = 2.69 \text{ g/cm}^3$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = \frac{2.73 + 2.74 + 2.73}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = 2.73 \text{ g/cm}^3$$

$$\%Absorcion = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$\%Absorcion = \frac{0.93 + 0.91 + 0.97}{3}$$

$$\%Absorcion = 0.94 \%$$

F. Peso específico y absorción del ladrillo

Tabla 45 Peso específico y absorción del ladrillo

LADRILLO ASTM C-127/ NTP 400.021				
IDENTIFICACION DEL AGREGADO		PROCEDENCIA		
CODIGO	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
A	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (EN AIRE)	5285.50	5000.30	5002.30
B	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SUMERGIDO)	3012.90	2817.50	2818.30
C	VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS (A-B)	2272.60	2182.80	2184.00
D	PESO DE MATERIAL SECO	4699.20	4466.90	4466.80
E	PESO ESPECIFICO DE MASA D/C	2.07	2.05	2.05
F	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) A/C	2.33	2.29	2.29
G	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) D/(D-B)	2.79	2.71	2.71
H	ABSORCION ((A-D)/D)*100	12.48%	11.94%	11.99%

Fuente: Propia

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = \frac{2.07 + 2.05 + 2.05}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO DE MASA = 2.51\text{ g/cm}^3$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = \frac{2.33 + 2.29 + 2.29}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO SSS = 2.53\text{ g/cm}^3$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = \frac{2.79 + 2.71 + 2.71}{3}$$

$$PESO ESPECIFICO APARENTE = 2.73\text{ g/cm}^3$$

$$\%Absorcion = \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$\%Absorcion = \frac{12.48 + 11.94 + 11.99}{3}$$

$$\%Absorcion = 12.1\%$$

G. Peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino

Tabla 46 *Peso unitario suelto del agregado fino*

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO			
Prueba	1	2	3
Peso del molde	1609.60	1609.60	1609.60
Volumen del molde	2703.70	2703.70	2703.70
Peso del molde + muestra seca	6035.50	6071.80	6053.00
Peso de la muestra seca	4425.90	4462.20	4443.40
Peso unitario suelto	1.64	1.65	1.64

Fuente: Propia

$$PESO UNITARIO SUELTO A. FINO = \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO UNITARIO SUELTO A.FINO = \frac{1.64 + 1.65 + 1.64}{3}$$

$$PESO UNITARIO SUELTO A.FINO = 1.64 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 47 Peso unitario compactado del agregado fino

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO			
Prueba	1	2	3
Peso del molde	1609.60	1609.60	1609.60
Volumen del molde	2703.70	2703.70	2703.70
Peso del molde + muestra seca	6786.40	6823.90	6814.60
Peso de la muestra seca	5176.80	5214.30	5205.00
Peso unitario compactado	1.91	1.93	1.93

Fuente: Propia

$$PESO UNITARIO COMPACTADO A.FINO$$

$$= \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO UNITARIO COMPACTADO A.FINO = \frac{1.91 + 1.93 + 1.93}{3}$$

$$PESO UNITARIO COMPACTADO A.FINO = 1.92 \text{ g/cm}^3$$

H. Peso unitario seco suelto y compactado del agregado grueso

Tabla 48 Peso unitario suelto del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO			
Prueba	1	2	3
Peso del molde	5777.80	5777.80	5777.80
Volumen del molde	13975.80	13975.80	13975.80
Peso del molde + muestra seca	27420.40	26989.80	27334.90
Peso de la muestra seca	21642.60	21212.00	21557.10
Peso unitario suelto	1.55	1.52	1.54

Fuente: Propia

$$PESO UNITARIO SUELTO A.GRUESO = \frac{PRUEBA 1 + PRUEBA 2 + PRUEBA 3}{3}$$

$$PESO UNITARIO SUELTO A.GRUESO = \frac{1.55 + 1.52 + 1.54}{3}$$

$$PESO UNITARIO SUELTO A.GRUESO = 1.54 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 49 Peso unitario compactado del agregado grueso

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO			
Prueba	1	2	3
Peso del molde	5777.80	5777.80	5777.80
Volumen del molde	13975.80	13975.80	13975.80
Peso del molde + muestra seca	28719.10	28369.50	28989.80
Peso de la muestra seca	22941.30	22591.70	23212.00
Peso unitario compactado	1.64	1.62	1.66

Fuente: Propia

PESO UNITARIO COMPACTADO A. GRUESO

$$= \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO\ UNITARIO\ COMPACTADO\ A.\ GRUESO = \frac{1.64 + 1.62 + 1.66}{3}$$

$$PESO\ UNITARIO\ COMPACTADO\ A.\ GRUESO = 1.64\ g/cm^3$$

I. Peso unitario seco suelto y compactado del ladrillo

Tabla 50 Peso unitario suelto del ladrillo

PESO UNITARIO SUELTO DEL LADRILLO			
Prueba	1	2	3
Peso del molde	5777.80	5777.80	5777.80
Volumen del molde	13975.80	13975.80	13975.80
Peso del molde + muestra seca	19596.00	19263.60	19456.40
Peso de la muestra seca	13818.20	13485.80	13678.60
Peso unitario suelto	0.99	0.96	0.98

Fuente: Propia

$$PESO\ UNITARIO\ SUELTO\ LADRILLO = \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO\ UNITARIO\ SUELTO\ LADRILLO = \frac{0.99 + 0.96 + 0.98}{3}$$

$$PESO\ UNITARIO\ SUELTO\ LADRILLO = 0.98\ g/cm^3$$

Tabla 51 Peso unitario compactado del ladrillo

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL LADRILLO			
Prueba	1	2	3
Peso del molde	5777.80	5777.80	5777.80
Volumen del molde	13975.80	13975.80	13975.80
Peso del molde + muestra seca	20324.20	20943.90	20661.50
Peso de la muestra seca	14546.40	15166.10	14883.70
Peso unitario compactado	1.04	1.09	1.06

Fuente: Propia

PESO UNITARIO COMPACTADO LADRILLO

$$= \frac{PRUEBA\ 1 + PRUEBA\ 2 + PRUEBA\ 3}{3}$$

$$PESO\ UNITARIO\ COMPACTADO\ LADRILLO = \frac{1.04 + 1.09 + 1.06}{3}$$

$$PESO\ UNITARIO\ COMPACTADO\ LADRILLO = 1.06\ g/cm^3$$

J. Contenido de humedad de los agregados fino y grueso

Tabla 52 Contenido de humedad del agregado

DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Identificación del recipiente	A	B	C
Peso del recipiente	160.8	159.3	162.4
Peso del recipiente + muestra húmeda	670.1	669.5	667.3
Peso del recipiente + muestra seca	659.9	658.4	656
Contenido de humedad (%)	2.04%	2.22%	2.29%
Promedio de humedad (%)	2.19%		

Fuente: Propia

Tabla 53 Contenido de humedad del agregado grueso

DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Identificación del recipiente	A	B	C
Peso del recipiente	672.4	670.2	665.9
Peso del recipiente + muestra húmeda	2682.4	2674	2667.4
Peso del recipiente + muestra seca	2673	2666	2658.1
Contenido de humedad (%)	0.47%	0.40%	0.47%
Promedio de humedad (%)	0.45%		

Fuente: Propia

ANEXO 2: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ANALISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A. Ensayos de resistencia a la compresión a los 4 diseños.

a) Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días

Tabla 54 Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 1 (Control)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 1: CONTROL								
CURADO SUMERGIDO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 (kgf/cm ²)	TIPO DE FALLA
1	1	6/11/2018	181.45	46140.00	30.00	254.28	91%	TIPO 3
2	2	6/11/2018	179.07	45298.00	29.80	252.96	90%	TIPO 6
3	3	6/11/2018	176.71	46389.00	29.60	262.52	94%	TIPO 3
			179.08	45942.33	29.80	256.58	92%	

Fuente: Propia

Tabla 55 Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 2 (15% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 2: 15% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	6/11/2018	183.85	39857.00	30.00	216.79	77%	TIPO 6
2	2	6/11/2018	179.07	40639.00	31.00	226.94	81%	TIPO 6
3	3	6/11/2018	181.45	38657.00	30.00	213.04	76%	TIPO 3
			181.46	39717.67	30.33	218.92	78%	

Fuente: Propia

Tabla 56 Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 3 (21% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 3: 21% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	5/04/2019	176.71	44885.00	30.50	254.00	91%	TIPO 3
2	2	5/04/2019	179.07	43689.00	30.00	243.97	87%	TIPO 3
3	3	5/04/2019	183.85	45973.00	31.00	250.06	89%	TIPO 3
			179.88	44849.00	30.50	249.35	89%	

Fuente: Propia

Tabla 57 Ensayo de resistencia a la compresión a 7 días de Diseño 4 (27% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 4: 27% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	5/04/2019	179.79	40365.00	30.50	224.52	80%	TIPO 6
2	2	5/04/2019	178.13	39689.00	31.00	222.81	80%	TIPO 3
3	3	5/04/2019	182.17	39875.00	31.00	218.89	78%	TIPO 6
			180.03	39976.33	30.83	222.07	79%	

Fuente: Propia

b) Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días

Tabla 58 Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 1 (Control)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 1: CONTROL								
CURADO SUMERGIDO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	20/11/2018	179.07	49315.00	30.00	275.39	98%	TIPO 3
2		20/11/2018	180.50	48963.00	31.00	271.26	97%	TIPO 6
3		20/11/2018	181.45	49687.00	30.50	273.83	98%	TIPO 3
			180.34	49321.67	30.50	273.49	98%	

Fuente: Propia

Tabla 59 Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 2 (15% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 2: 15% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	20/11/2018	181.45	42514.00	30.00	234.30	84%	TIPO 6
2		20/11/2018	179.07	41568.00	30.00	232.13	83%	TIPO 6
3		20/11/2018	180.26	42682.00	30.50	236.78	85%	TIPO 6
			180.26	42254.67	30.17	234.40	84%	

Fuente: Propia

Tabla 60 Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 3 (21% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 3: 21% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	19/04/2019	179.07	47582.00	31.00	265.71	95%	TIPO 3
2	2	19/04/2019	179.55	47326.00	31.00	263.58	94%	TIPO 3
3	3	19/04/2019	182.65	46976.00	30.50	257.19	92%	TIPO 6
			180.42	47294.67	30.83	262.16	94%	

Fuente: Propia

Tabla 61 Ensayo de resistencia a la compresión a 21 días de Diseño 4 (27% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 4: 27% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	19/04/2019	181.93	43651.00	30.00	239.93	86%	TIPO 6
2	2	19/04/2019	181.93	43421.00	30.00	238.67	85%	TIPO 3
3	3	19/04/2019	181.93	42769.00	30.00	235.08	84%	TIPO 3
			181.93	43280.33	30.00	237.89	85%	

Fuente: Propia

c) Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días

Tabla 62 Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 1 (Control)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 1: CONTROL								
CURADO SUMERGIDO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	27/11/2019	180.26	61805.00	30.00	342.86	122%	TIPO 3
2	2	27/11/2019	182.00	63691.00	31.00	349.95	125%	TIPO 6
3	3	27/11/2019	181.69	60345.00	30.50	332.13	119%	TIPO 6
			181.32	61947.00	30.50	341.65	122%	

Fuente: Propia

Tabla 63 Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 2 (15% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 2: 15% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	27/11/2019	178.84	46234.00	30.00	258.53	92%	TIPO 3
2	2	27/11/2019	179.79	47235.00	30.00	262.73	94%	TIPO 3
3	3	27/11/2019	181.69	47854.00	30.00	263.38	94%	TIPO 6
			180.10	47107.67	30.00	261.55	93%	

Fuente: Propia

Tabla 64 Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 3 (21% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 3: 21% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN fc' 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	26/04/2019	181.05	64120.67	30.00	354.17	126%	TIPO 3
2	2	26/04/2019	180.50	63598.00	30.50	352.34	126%	TIPO 6
3	3	26/04/2019	177.89	64063.00	32.00	360.13	129%	TIPO 3
			179.81	63927.22	30.83	355.55	127%	

Fuente: Propia

Tabla 65 Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de Diseño 4 (27% ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 4: 27% LADRILLO								
AUTOCURADO								
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	D (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	COMPARACIÓN f'c 280 kgf/cm ²	TIPO DE FALLA
1	1	26/04/2019	179.88	47925.00	30.00	266.43	95%	TIPO 3
2	2	26/04/2019	190.88	47856.00	31.00	250.71	90%	TIPO 3
3	3	26/04/2019	185.23	48322.00	32.00	260.79	93%	TIPO 3
			185.35	48034.33	31.00	259.31	93%	

Fuente: Propia

ANEXO 3: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ANALISIS DE RESISTENCIA A LA FLEXION

- A. Ensayos de resistencia a la flexion al diseño de control y diseño optimo (21% reemplazo de ladrillo triturado)
- a) Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días.

Tabla 66 Ensayo de resistencia a la flexión a 28 días de Diseño Control

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO 1: CONTROL										
CURADO SUMERGIDO										
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	EDAD	f'c (kg/cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LUZ LIBRE (cm)	MODULO DE ROTURA (kg/cm ²)	% DE F'c ALCANZADO
1	1	26/04/2019	28	280	6159	15.50	15.20	16.50	28.38	10.13%
2	2	26/04/2019	28	280	6629	15.50	15.20	16.51	30.57	10.92%
3	3	26/04/2019	28	280	6425	15.50	15.20	16.53	29.65	10.59%
PROMEDIO									44.30	

Fuente: Propia

Tabla 67 Ensayo de resistencia a la flexión a 28 días de Diseño Optimo (21% de ladrillo)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DISEÑO OPTIMO: 21% REEMPLAZO										
CURADO SUMERGIDO										
N° DE ENSAYO	CODIGO	FECHA	EDAD	f'c (kg/cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LUZ LIBRE (cm)	MODULO DE ROTURA (kg/cm ²)	% DE F'c ALCANZADO
1	1	26/04/2019	28	280	6238	15.50	15.20	16.50	28.74	10.26%
2	2	26/04/2019	28	280	6973	15.50	15.20	16.50	32.13	11.47%
3	3	26/04/2019	28	280	6425	15.50	15.20	16.50	29.60	10.57%
PROMEDIO									45.24	

Fuente: Propia