

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“DESEMPEÑO DE LA CÁSCARA DE HUEVO EN LAS
PROPIEDADES DEL CONCRETO ELABORADO CON
CEMENTO PORTLAND TIPO I Y TIPO IP”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

IVAN DANIEL CONDORI MAMANI

 [0009-0008-4997-3862](https://orcid.org/0009-0008-4997-3862)

ASESOR

Ing. RAFAEL CACHAY HUAMÁN

 [0009-0001-6544-8493](https://orcid.org/0009-0001-6544-8493)

LIMA- PERÚ

2025

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Condori Mamani, Ivan Daniel

ivdacondori@gmail.com

970173526

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Fermín y Florencia, por su apoyo firme y enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro académico es también de ustedes, refleja el incansable esfuerzo que han invertido para brindarme una educación sólida y convertirme en lo que soy ahora.

AGRADECIMIENTO

A la UNI por brindarme la formación académica y profesional que ha sido fundamental para alcanzar este logro.

Al Ing. Rafael Cachay, mi asesor de tesis, por su orientación y valiosos consejos durante todo el proceso para culminar este trabajo con éxito.

A todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la culminación de esta etapa, mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

Índice	1
Resumen	6
Abstract	7
Prólogo	8
Lista de tablas	9
Lista de figuras	11
Capítulo I: Introducción	13
1.1 Generalidades.....	13
1.2 Problemática	19
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 Hipótesis	21
Capítulo II: Marco teórico	22
2.1 Cemento portland.....	22
2.1.1 Introducción	22
2.1.2 Hidratación del cemento portland con adición puzolánica	22
2.1.3 Tipos de cemento utilizados en la investigación.....	23
2.1.3.1 <i>Cemento portland tipo I</i>	23
2.1.3.2 <i>Cemento portland tipo IP</i>	23
2.1.4 Producción global e impacto ambiental	25
2.1.5 Residuos como conglomerantes en el cemento	26
2.2 Propiedades del concreto.....	27
2.2.1 Propiedades del concreto fresco.....	27
2.2.1.1 <i>Trabajabilidad o manejabilidad</i>	27
2.2.1.2 <i>Segregación</i>	29
2.2.1.3 <i>Exudación o sangrado</i>	29
2.2.1.4 <i>Masa unitaria</i>	29
2.2.1.5 <i>Contenido de aire</i>	30
2.2.1.6 <i>Contenido de agua</i>	30
2.2.2 Proceso de fraguado.....	30
2.2.3 Propiedades del concreto endurecido	32
2.2.3.1 <i>Resistencia</i>	32

2.2.3.2	<i>Peso unitario (densidad)</i>	33
2.3	Propiedades físicas de los agregados	33
2.3.1	Granulometría o gradación.....	33
2.3.2	Forma de las partículas.....	36
2.3.3	Textura.....	36
2.3.4	Densidad.....	36
2.3.5	Porosidad y absorción.....	36
2.3.6	Masa unitaria	37
2.4	Cáscara de huevo	37
2.4.1	El huevo	37
2.4.2	Características y estructura del huevo	38
2.4.3	Caracterización química de la cáscara de huevo	40
2.4.4	Situación de la cáscara de huevo.....	42
2.4.5	Producción de huevo y cáscara de huevo	44
2.5	Equipos para caracterización	46
2.5.1	Espectroscopio de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva	46
Capítulo III: Metodología		48
3.1	Tipo de investigación.....	48
3.2	Lugar de ejecución	49
3.3	Población y muestras para la investigación	49
3.4	Técnicas de investigación	50
3.5	Proceso de la investigación	51
Capítulo IV: Experimentación		55
4.1	Procedimiento preliminar.....	55
4.1.1	Ensayos preliminares de agregado fino	55
4.1.1.1	<i>Análisis granulométrico (NTP 400.012)</i>	55
4.1.1.2	<i>Peso unitario (NTP 400.017)</i>	56
4.1.1.3	<i>Peso específico (NTP 400.022) y absorción</i>	57
4.1.1.4	<i>Contenido de humedad (NTP 339.185)</i>	59
4.1.2	Ensayos preliminares de agregado grueso	59
4.1.2.1	<i>Análisis granulométrico (NTP 400.012)</i>	59
4.1.2.2	<i>Peso unitario (NTP 400.017)</i>	61
4.1.2.3	<i>Peso específico (NTP 400.021) y absorción</i>	61
4.1.2.4	<i>Contenido de humedad (NTP 339.185)</i>	62

4.1.3	Preparación de polvo de cáscara de huevo (PCH).....	63
4.1.3.1	<i>Lavado y secado de cáscara de huevo</i>	63
4.1.3.2	<i>Triturado de la cáscara de huevo y posterior cernido</i>	64
4.1.3.3	<i>Molienda con molino manual</i>	65
4.1.3.4	<i>Tamizado del polvo de cáscara de huevo (PCH)</i>	66
4.1.3.5	<i>Material que pasa la malla N° 200 (NTP 400.018)</i>	67
4.1.3.6	<i>Medición de compuestos químicos</i>	67
4.2	Diseño experimental con cemento tipo I.....	68
4.2.1	Ensayo de máxima compacidad de la combinación de agregados... 69	
4.2.2	Diseño de mezcla patrón con cemento tipo I.....	70
4.2.2.1	<i>Diseño de mezcla preliminar</i>	70
4.2.2.2	<i>Diseño de mezcla patrón</i>	75
4.2.3	Diseño de mezcla con cemento tipo I y PCH.....	75
4.3	Diseño experimental con cemento tipo IP.....	76
4.3.1	Ensayo de máxima compacidad de la combinación de agregados... 76	
4.3.2	Diseño de mezcla patrón con cemento tipo IP	76
4.3.2.1	<i>Diseño de mezcla preliminar</i>	76
4.3.2.2	<i>Diseño de mezcla patrón</i>	77
4.3.3	Diseño de mezcla con cemento tipo IP y PCH	78
4.4	Ensayos y resultados utilizando cemento tipo I	79
4.4.1	Propiedades del concreto en estado fresco.....	79
4.4.1.1	<i>Ensayo para medición de asentamiento (NTP 339.035)</i>	79
4.4.1.2	<i>Peso unitario (NTP 339.046)</i>	79
4.4.1.3	<i>Ensayo de consistencia (NTP 339.085)</i>	79
4.4.1.4	<i>Tiempo de fraguado (NTP 339.082)</i>	80
4.4.2	Propiedades del concreto en estado endurecido.....	81
4.4.2.1	<i>Resistencia a la compresión (NTP 339.034)</i>	81
4.4.2.2	<i>Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)</i> . 82	
4.5	Ensayos y resultados utilizando cemento tipo IP	82
4.5.1	Propiedades del concreto en estado fresco.....	82
4.5.1.1	<i>Ensayo para medición de asentamiento (NTP 339.035)</i>	82
4.5.1.2	<i>Peso unitario (NTP 339.046)</i>	83
4.5.1.3	<i>Ensayo de consistencia (NTP 339.085)</i>	83
4.5.1.4	<i>Tiempo de fraguado (NTP 339.082)</i>	84

4.5.2	Propiedades del concreto en estado endurecido.....	85
4.5.2.1	<i>Resistencia a la compresión (NTP 339.034)</i>	85
4.5.2.2	<i>Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)</i> .	85
Capítulo V: Análisis y discusión.....		86
5.1	Concreto elaborado con cemento tipo I.....	86
5.1.1	Análisis de propiedades del concreto en estado fresco	86
5.1.1.1	<i>Asentamiento (NTP 339.035)</i>	86
5.1.1.2	<i>Consistencia (NTP 339.085)</i>	87
5.1.1.3	<i>Peso unitario (NTP 339.046)</i>	88
5.1.1.4	<i>Tiempo de fraguado (NTP 339.082)</i>	89
5.1.2	Análisis de propiedades del concreto en estado endurecido	91
5.1.2.1	<i>Resistencia a la compresión (NTP 339.034)</i>	91
5.1.2.2	<i>Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)</i> .	96
5.2	Concreto elaborado con cemento tipo IP.....	98
5.2.1	Análisis de propiedades del concreto en estado fresco	98
5.2.1.1	<i>Asentamiento (NTP 339.035)</i>	98
5.2.1.2	<i>Consistencia (NTP 339.085)</i>	99
5.2.1.3	<i>Peso unitario (NTP 339.046)</i>	100
5.2.1.4	<i>Tiempo de fraguado (NTP 339.082)</i>	101
5.2.2	Análisis de propiedades del concreto en estado endurecido	103
5.2.2.1	<i>Resistencia a la compresión (NTP 339.034)</i>	103
5.2.2.2	<i>Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)</i>	108
5.3	Comparativa de la aplicación de PCH	110
5.3.1	Concreto en estado fresco	110
5.3.1.1	<i>Asentamiento (NTP 339.035)</i>	110
5.3.1.2	<i>Consistencia (NTP 339.085)</i>	111
5.3.1.3	<i>Peso unitario (NTP 339.046)</i>	112
5.3.1.4	<i>Tiempo de fraguado (NTP 339.082)</i>	113
5.3.2	Análisis de propiedades del concreto en estado endurecido	115
5.3.2.1	<i>Resistencia a la compresión (NTP 339.034)</i>	115
5.3.2.2	<i>Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)</i>	118
Conclusiones		121
Recomendaciones		123
Referencias bibliográficas		124

Anexos	128
Anexo A.....	129
Resultados de propiedades del concreto fresco	129
1. Asentamiento con cemento tipo I	129
2. Asentamiento con cemento tipo IP	129
3. Peso unitario con cemento tipo I	129
4. Peso unitario con cemento tipo IP	129
5. Consistencia con cemento tipo I.....	130
6. Consistencia con cemento tipo IP	131
7. Tiempo de fraguado con cemento tipo I	132
8. Tiempo de fraguado con cemento tipo IP	139
Anexo B.....	147
Resultados de propiedades del concreto endurecido.....	147
1. Resistencia a la compresión usando cemento portland tipo I	147
2. Resistencia a la compresión usando cemento portland tipo IP	153
3. Resistencia a la tracción por compresión diametral usando cemento portland tipo I.....	159
4. Resistencia a la tracción por compresión diametral usando cemento portland tipo IP	163
Anexo C.....	167
Resultados de ensayo de análisis de composición química.....	167
Anexo D.....	171
Panel fotográfico.....	171

RESUMEN

La industria del cemento es una de las principales responsables de las emisiones directas de CO₂, debido principalmente a la calcinación de la roca caliza y la combustión. Frente a esta problemática ambiental, se han explorado alternativas sostenibles como el uso de desechos agrícolas en la fabricación de concreto. Entre estos, la cáscara de huevo destaca por su alto contenido de compuestos de calcio, similares a los del cemento. En los últimos años, diversos estudios han investigado su aplicación como sustituto parcial del cemento, evaluando su influencia en la resistencia y tiempo de fragua del concreto.

Sin embargo, existe escasa información sobre el comportamiento del polvo de cáscara de huevo en combinación con cementos que contienen puzolana. La presente tesis tiene como objetivo evaluar experimentalmente el desempeño de las propiedades físicas y mecánicas del concreto al sustituir parcialmente cemento Tipo I y Tipo IP con polvo de cáscara de huevo. Se desarrolló una investigación aplicada, realizando una serie de ensayos para determinar el comportamiento del concreto modificado.

Los resultados indican que un reemplazo óptimo del 5% de cemento por cáscara de huevo permite mejorar ciertas propiedades del concreto, sin generar efectos negativos significativos en su desempeño estructural. Esta propuesta representa una alternativa viable y sostenible para la industria de la construcción, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ y al aprovechamiento de residuos agroindustriales.

Palabras clave: Cemento, cáscara de huevo, concreto, sostenibilidad, puzolana.

ABSTRACT

The cement industry is one of the main contributors to direct CO₂ emissions, primarily due to the calcination of limestone and fuel combustion. In response to this environmental issue, sustainable alternatives have been explored, such as the use of agricultural waste in concrete production. Among these, eggshells stand out due to their high calcium compound content, similar to that of cement. In recent years, various studies have investigated their application as a partial cement substitute, evaluating their influence on concrete strength and setting time.

However, limited information is available regarding the behavior of eggshell powder in combination with pozzolanic cement. This thesis aims to experimentally evaluate the performance of the physical and mechanical properties of concrete by partially replacing Type I and Type IP cement with eggshell powder. An applied research approach was used, conducting a series of tests to assess the behavior of the modified concrete.

The results indicate that an optimal replacement level of 5% cement with eggshell powder improves certain concrete properties without causing significant negative effects on its structural performance. This proposal represents a viable and sustainable alternative for the construction industry, contributing to the reduction of CO₂ emissions and the reuse of agro-industrial waste.

Keywords: Cement, eggshell, concrete, sustainability, pozzolan.

PRÓLOGO

El concreto es el material fabricado más utilizado por el hombre, solo el agua lo supera como recurso más consumido en el planeta. El ceresmento como elemento clave del concreto deja una enorme huella de carbono durante su producción. Es la fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del mundo, según el centro de estudios Chatham House.

La producción de cemento Portland, no solo implica la extracción de piedras en canteras, lo que contamina el aire por la emisión de polvo, sino que también requiere el uso de enormes hornos, que consumen grandes cantidades de energía. Con la necesidad de obtener materiales de construcción que sean conscientes con naturaleza, la utilización de residuos es una propuesta que se encamina hacia la conservación del medio ambiente.

En el Perú se generan una gran cantidad de residuos al día, los cuales no reciben un tratamiento adecuado en los botaderos. Muchos de estos residuos son de origen agroindustrial, como residuos de café, cascarilla de arroz y cáscara de huevo.

El consumo de huevo a nivel mundial es inmenso, en los procesos industriales, el huevo se casca para extraer la yema y la clara. La cáscara, junto con su membrana interna que queda adherida a la cáscara, pasan a ser residuos en el proceso. La cáscara de huevo es un residuo catalogado como materia orgánica, en su descomposición genera gases de efecto invernadero y líquidos lixiviados que contaminan el suelo. La mayor parte de los residuos acaban en vertederos, sin embargo podrían emplearse para una gran cantidad de aplicaciones.

En la presente investigación se tomó la cáscara de huevo como un residuo potencial debido a su alto contenido de calcio y se evaluó sus características frente al cemento portland tipo I y tipo IP, los cuales son los cementos de uso general más utilizados.

Dada la importancia de este problema, esta tesis va dirigida a ingenieros y al público general, que están interesados por soluciones para lograr un concreto más amigable con el medio ambiente.

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Límites granulométricos del agregado fino	34
Tabla N° 2: Límites granulométricos del agregado grueso	34
Tabla N° 3: Resultados de caracterización 1	41
Tabla N° 4: Resultados de caracterización 2	41
Tabla N° 5: Producción nacional de huevo de gallina	44
Tabla N° 6: Principales regiones de producción de huevo	45
Tabla N° 7: Producción de huevo del año 2022	46
Tabla N° 8: Granulometría del agregado fino	55
Tabla N° 9: Granulometría del agregado grueso	60
Tabla N° 10: Resultados de laboratorio	68
Tabla N° 11: Peso unitario compactado del agregado global	69
Tabla N° 12: Propiedades de los agregados empleados en el diseño 1	70
Tabla N° 13: Diseño preliminar 1	73
Tabla N° 14: Diseño preliminar 2	73
Tabla N° 15: Diseño preliminar 3	74
Tabla N° 16: Diseño preliminar 4	74
Tabla N° 17: Diseño obtenido para $a/c = 0.55$ con cemento tipo I	75
Tabla N° 18: Resumen de dosificaciones de diseño 1	75
Tabla N° 19: Propiedades de los agregados empleados en el diseño 2	76
Tabla N° 20: Diseño preliminar 5	77
Tabla N° 21: Diseño preliminar 6	77
Tabla N° 22: Diseño obtenido para $a/c = 0.55$ con cemento tipo IP	78
Tabla N° 23: Resumen de dosificaciones de diseño 2	78
Tabla N° 24: Asentamiento del concreto con CP T-I	79
Tabla N° 25: Peso unitario del concreto con CP T-I	79
Tabla N° 26: Consistencia del concreto con CP T-I	80
Tabla N° 27: Tiempo de fraguado del concreto con CP T-I	80
Tabla N° 28: Cuadro resumen de ensayos de concreto fresco con CP T-I	80
Tabla N° 29: Resumen de ensayos de resistencia a la compresión	81
Tabla N° 30: Resumen de ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral	82
Tabla N° 31: Asentamiento del concreto con CP T-IP	83
Tabla N° 32: Peso unitario del concreto con CP T-IP	83
Tabla N° 33: Consistencia del concreto con CP T-IP	83
Tabla N° 34: Tiempo de fraguado del concreto con CP T-IP	84
Tabla N° 35: Cuadro resumen de ensayos de concreto fresco con CP T-IP	84
Tabla N° 36: Resumen de ensayos de resistencia a la compresión	85
Tabla N° 37: Resumen de ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral	85
Tabla N° 38: Asentamiento con CP T-I	86
Tabla N° 39: Consistencia con CP T-I	87
Tabla N° 40: Peso unitario con CP T-I	88
Tabla N° 41: Tiempo de fraguado inicial con CP T-I	89
Tabla N° 42: Tiempo de fraguado final con CP T-I	90

Tabla N° 43: Resistencia a la compresión con CP T-I.....	91
Tabla N° 44: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-I.....	93
Tabla N° 45: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-I.....	94
Tabla N° 46: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-I.....	95
Tabla N° 47: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-I.....	96
Tabla N° 48: Asentamiento con CP T-IP	98
Tabla N° 49: Consistencia con CP T-IP	99
Tabla N° 50: Peso unitario con CP T-IP	100
Tabla N° 51: Tiempo de fraguado inicial con CP T-IP	101
Tabla N° 52: Tiempo de fraguado final con CP T-IP	102
Tabla N° 53: Resistencia a la compresión con CP T-IP	103
Tabla N° 54: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-IP ...	105
Tabla N° 55: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-IP ...	106
Tabla N° 56: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-IP..	107
Tabla N° 57: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-IP	108
Tabla N° 58: Porcentaje de asentamiento con CP T-I y CP T-IP.....	110
Tabla N° 59: Porcentaje de consistencia con CP T-I y CP T-IP	111
Tabla N° 60: Porcentaje de peso unitario con CP T-I y CP T-IP.....	112
Tabla N° 61: Porcentaje de tiempo de fragua inicial con CP T-I y CP T-IP.....	113
Tabla N° 62: Porcentaje de tiempo de fragua final con CP T-I y CP T-IP	114
Tabla N° 63: Variación de resistencia a la compresión a los 3 días con CP T-I y CP T-IP.....	115
Tabla N° 64: Variación de resistencia a la compresión a los 7 días con CP T-I y CP T-IP.....	116
Tabla N° 65: Variación de resistencia a la compresión a los 28 días con CP T-I y CP T-IP.....	117
Tabla N° 66: Variación de resistencia a la tracción a los 7 días con CP T-I y CP T-IP.....	118
Tabla N° 67: Variación de resistencia a la tracción a los 28 días con CP T-I y CP T-IP.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Cemento Sol Tipo I	23
Figura N° 2: Cemento Yura Tipo IP.....	24
Figura N° 3: Ensayo de asentamiento del concreto	28
Figura N° 4: Ensayo de peso unitario del concreto	30
Figura N° 5: Ensayo de tiempo de fragua por método de resistencia a la penetración.....	31
Figura N° 6: Corte transversal del huevo y sus partes	38
Figura N° 7: Estructura de la cáscara de huevo	40
Figura N° 8: Tendencia en la producción mundial de huevo de gallina	42
Figura N° 9: Principales países productores de huevo de gallina – Año 2017....	43
Figura N° 10: Distribución regional de la producción de huevo de gallina – Año 2018	44
Figura N° 11: Producción de huevo nacional	45
Figura N° 12: Equipo EDX-800HS	47
Figura N° 13: Norma Técnica Peruana	48
Figura N° 14: Formato de ensayo	50
Figura N° 15: Equipo para ensayo de granulometría del agregado fino	56
Figura N° 16: Ensayo de peso unitario.....	57
Figura N° 17: Ensayo de peso específico y absorción	58
Figura N° 18: Equipo para ensayo de granulometría del agregado grueso	60
Figura N° 19: Cáscara de huevo lavada.....	63
Figura N° 20: Secado de cáscara de huevo al aire libre.....	64
Figura N° 21: Trituración de la cáscara de huevo	64
Figura N° 22: Rodillo de madera usado para la trituración de la cáscara de huevo	65
Figura N° 23: Cernido de la cáscara de huevo triturada.....	65
Figura N° 24: Cáscara de huevo antes de ser molido y el molino manual.....	66
Figura N° 25: Tamiz utilizado para obtener el polvo de cáscara de huevo	66
Figura N° 26: Ensayo de malla N° 200.....	67
Figura N° 27: Peso unitario compactado del agregado global.....	70
Figura N° 28: Variación del asentamiento con CP T-I	86
Figura N° 29: Variación de la consistencia con CP T-I	87
Figura N° 30: Variación del peso unitario con CP T-I	88
Figura N° 31: Variación del fraguado inicial con CP T-I.....	89
Figura N° 32: Variación del fraguado final con CP T-I.....	90
Figura N° 33: Resistencia a la compresión con CP T-I.....	92
Figura N° 34: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-I.....	93
Figura N° 35: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-I.....	94
Figura N° 36: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-I.....	95
Figura N° 37: Resistencia a la tracción con CP T-I	96
Figura N° 38: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-I.....	97
Figura N° 39: Variación del asentamiento con CP T-IP	98
Figura N° 40: Variación de la consistencia con CP T-IP.....	99
Figura N° 41: Variación del peso unitario con CP T-IP.....	100

Figura N° 42: Variación del fraguado inicial con CP T-IP	101
Figura N° 43: Variación del fraguado final con CP T-IP.....	102
Figura N° 44: Resistencia a la compresión con CP T-IP	104
Figura N° 45: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-IP ..	105
Figura N° 46: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-IP ..	106
Figura N° 47: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-IP	107
Figura N° 48: Resistencia a la tracción con CP T-IP	108
Figura N° 49: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-IP	109
Figura N° 50: Variación del asentamiento con CP T-I y CP T-IP.....	110
Figura N° 51: Variación de la consistencia con CP T-I y CP T-IP.....	111
Figura N° 52: Variación del peso unitario con CP T-I y CP T-IP.....	112
Figura N° 53: Variación de fragua inicial con CP T-I y CP T-IP	113
Figura N° 54: Variación de la fragua final con CP T-I y CP T-IP.....	114
Figura N° 55: Variación de resistencia a la compresión a los 3 días con CP T-I y CP T-IP.....	115
Figura N° 56: Variación de resistencia a la compresión a los 7 días con CP T-I y CP T-IP.....	116
Figura N° 57: Variación de resistencia a la compresión a los 28 días con CP T-I y CP T-IP.....	117
Figura N° 58: Variación de la resistencia a la tracción a los 7 días con CP T-I y CP T-IP.....	118
Figura N° 59: Variación de la resistencia a la tracción a los 28 días con CP T-I y CP T-IP.....	119

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En la actualidad la investigación de nuevas tecnologías y utilización de residuos industriales tienen un papel importante para el desarrollo e innovación de productos amigables con el medio ambiente.

El continuo crecimiento de las principales economías mundiales ha resultado en un incremento de la demanda de materiales de construcción. Se estima, pues, que la producción global de cemento en 2030 crecerá situándose en un nivel aproximadamente cinco veces superior a la producción de 1990, cercano a 5 billones de toneladas alrededor del mundo. Esto tiene un impacto significativo en el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que la producción de cada tonelada de cemento genera emisiones de aproximadamente 0.89 toneladas de CO₂. En consecuencia, se estima que las emisiones globales del sector del cemento superarán la cantidad total de emisiones de CO₂ de la Unión Europea antes de 2030.

El concreto es el material artificial de construcción más ampliamente utilizado en todo el mundo. Es imposible exagerar la importancia del concreto en nuestra vida diaria. Se emplea en estructuras tales como edificios, puentes, túneles, presas, fabricas, pavimentos y campos deportivos. Está compuesto por cemento portland, agregados, agua y espacios rellenos de aire.

El cemento portland es una cola instantánea (basta con añadir agua) que une las partículas de agregado entre sí para formar el concreto de cemento portland. La producción del cemento portland comienza con dos ingredientes brutos básicos: un material calcáreo y otro arcilloso. El material calcáreo es un óxido de calcio, como piedra caliza, yeso o conchas de ostras. El material arcilloso es una combinación de silicio y aluminio que puede obtenerse a partir de arcilla, esquistos y escorias de altos hornos.

Recientemente, en un esfuerzo adicional por reducir el empleo de cemento, el uso de materiales provenientes de residuos ha ganado gran importancia día a día dentro de la industria del concreto debido a consideraciones ecológicas que presenta. Ya sea para el aire, el suelo o el agua o para todos, cada residuo industrial es un contaminante, a menos que se recolecte, trate y elimine

adecuadamente. Algunos de los residuos industriales son peligrosos y representan un peligro para todos.

En algunos casos se podría sustituir un porcentaje del cemento por adiciones de residuos agroindustriales (cáscara de arroz, cáscara de huevo, entre otros), obteniendo buenos resultados. Podemos mencionar a la cáscara de arroz, el cual presenta un alto contenido de sílice, y es así, que también tenemos a la cáscara de huevo, el cual también es un residuo agroindustrial con alto contenido de calcio.

La reutilización de cáscara de huevo promovería su reciclaje de los desechos agrícolas y evitaría su desvío a los vertederos. El consumo de huevo en restaurantes y hogares es menor en comparación con la mayoría de los huevos utilizados en plantas de quebrantamiento de huevos, en donde se realiza una producción en masa de huevos líquidos y son utilizados en productos alimentarios.

Dentro de la agroindustria, se encuentra el sector de ovoproductos que en los últimos años ha generado un aumento significativo de su producción, sin embargo, se generan miles de toneladas de cáscara de huevo que no son aprovechadas eficientemente, del cual al no haber una correcta gestión de residuos, este genera múltiples problemas de contaminación ambiental.

Dentro de los antecedentes revisados para el presente estudio, se realizó una ardua revisión de diversos estudios, por lo que se encontró que en 2009, Mtallib, M. & Rabiú, A., estudió los efectos de la ceniza de cáscara de huevo en el tiempo de fraguado del cemento, utilizando un cemento portland ordinario. La ceniza de cáscara de huevo se constituyó con 0%, 0.1%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2.0% y 2.5% en relación al peso de cemento, los cuales fueron adicionados al cemento portland ordinario; resultando que cuanto mayor sea el contenido de ceniza de cáscara de huevo, más rápido será la velocidad de fraguado. De esta manera el tiempo de fraguado inicial disminuyó en 1.4%, 9.8%, 17.5%, 23.8%, 26.6% y 32.2%; el tiempo de fraguado final disminuyó en 2.8%, 10.5%, 17.8%, 26.3%, 29.2% y 34.0%, respectivamente para los contenidos de ceniza de cáscara de 0.1%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5%.

En el 2012, Okonkwo, Ugochukwu & Odiong, Inyeneobong & Akpabio, E., estudiaron los efectos de la ceniza de cáscara de huevo en las propiedades de

resistencia del suelo laterítico estabilizado con cemento, empleando un cemento portland ordinario. Agregaron contenidos constantes de cemento de 6% y 8% al suelo laterítico, con variaciones en el contenido de ceniza de cáscara de huevo de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso del suelo seco. Obteniendo como resultado que el aumento en el contenido de cenizas de cáscaras de huevo aumenta el contenido óptimo de humedad (2% en promedio), pero reduce la densidad seca máxima (promedio de 4%) de las mezclas de ceniza de cáscara de huevo de suelo-cemento. Además, el aumento en el contenido de ceniza de cáscara de huevo aumentó considerablemente la resistencia por CBR de la mezcla hasta un 35% en promedio.

En el 2014, Yerramala, A., desarrolló diferentes concretos reemplazando al 5%, 10% y 15% de polvo de cáscara de huevo por peso de cemento; también usaron ceniza volante junto al 15% de polvo de cáscara de huevo, utilizando un cemento Portland ordinario de grado 53 (cemento de alta resistencia). Presentando buenos resultados, la resistencia a la compresión fue mayor que el concreto de control para el 5% de reemplazo de cáscara de huevo a los 7 y 28 días de curado. Los reemplazos de cáscara de huevo mayores al 10% tuvieron menor resistencia que el concreto de control. La adición de cenizas volantes mejoró la resistencia a la compresión de cemento con cáscara de huevo. La resistencia de tracción del concreto con cáscara de huevo fue comparable al concreto de control hasta un 10% de reemplazo; y la adición de ceniza volante mejoró la resistencia a la tracción.

En el 2014 también, Gowsika, D. & Sarankokila, S. & Sargunan, K., realizaron una investigación experimental del polvo de cáscara de huevo como reemplazo parcial en mortero de cemento. Utilizaron cemento Portland ordinario de grado 53, obteniendo una fuerte disminución en la resistencia a la compresión más allá del 5% de sustitución del polvo de cáscara de huevo. Por lo que hicieron uso de microsilice para mejorar la resistencia de la mezcla de concreto con polvo de cáscara de huevo al 5% de reemplazo parcial, obteniendo que el 5% de cáscara de huevo + 20% de microsilice se pueden agregar sin ninguna reducción en las propiedades de resistencia a la compresión del concreto convencional.

En el 2015, Pliya, P., & Cree, D., estudiaron el desempeño de los polvos de desecho de cáscaras de huevo blanco y marrón molido como posible reemplazo de la piedra caliza extraída convencionalmente, en morteros de cemento,

emplearon un cemento Portland CEM I 52.5, de alta resistencia. Se utilizaron cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de polvo de cáscara de huevo en peso como reemplazo de cemento Portland. Se realizaron pruebas de compresión y resistencia a la flexión en muestras de mortero, encontrándose que el polvo de piedra caliza derivado de cáscaras de huevo blanco y marrón tienen propiedades inferiores en comparación con la piedra caliza convencional natural. Con 5% en peso de reemplazo de cemento Portland la resistencia a la compresión a los 7 días fue de 47.6 Mpa, 32.4 Mpa y 37.1 Mpa correspondiente a la caliza natural, cáscara de huevo blanco y cáscara de huevo marrón; a los 14 días fue de 47.3 Mpa, 38.1 Mpa y 37.3 Mpa correspondiente a la caliza natural, cáscara de huevo blanco y cáscara de huevo marrón; y a los 28 días fue de 54 Mpa, 43.1 Mpa y 43.1 Mpa correspondiente a la caliza natural, cáscara de huevo blanco y cáscara de huevo marrón. La resistencia a la flexión con 5% de reemplazo y a los 7 días fue de 7.3 Mpa, 6.6 Mpa y 6.5 Mpa correspondiente a la caliza natural, cáscara de huevo blanco y cáscara de huevo marrón; a los 14 días fue de 8.1 Mpa, 7.3 Mpa y 6.9 Mpa correspondiente a la caliza natural, cáscara de huevo blanco y cáscara de huevo marrón; y a los 28 días fue de 9.2 Mpa, 7.5 Mpa y 8.4 Mpa correspondiente a la caliza natural, cáscara de huevo blanco y cáscara de huevo.

En el 2017, Rios, M., buscó evaluar la resistencia del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de polvo de cáscara de huevo, sustituyendo al cemento en porcentajes de 5% y 10% en el diseño, utilizando un cemento Portland tipo I. Resultando que la cáscara de huevo pulverizada funciona como un aditivo acelerante natural y los concretos con adición de cáscara de huevo presentaron un incremento en su resistencia a los 28 días, con 5% alcanzó un $f'_c=277.20 \text{ kg/cm}^2$ (incremento de 32%) y con 10% alcanzó un $f'_c=348.28 \text{ kg/cm}^2$ (incremento de 65%).

En el 2017 también, Parthasarathi, N. & Prakash, M. & Satyanarayanan, K., estudiaron experimentalmente sobre el reemplazo parcial del cemento con polvo de cáscara de huevo y humo de sílice. Utilizaron cemento Portland ordinario de grado M30, el polvo de cáscara de huevo se reemplazó por 5%, 10% y 15% además del humo de sílice por 2.5%, 5% y 7.5% en peso de cemento. Obteniendo que la resistencia a la compresión del concreto con polvo de cáscara de huevo como material de reemplazo de cemento aumenta hasta un 15% sin

humo de sílice, con la adición de humo de sílice también mejora la resistencia pero no sería viable desde el punto de vista económico.

De igual manera en el 2017, Tan, Yeong & Shu Ing, Doh & Chin, S. C., investigó sobre el rendimiento del polvo de cáscara de huevo como reemplazo parcial del cemento en la producción de concreto, empleando un cemento Portland ordinario. Utilizaron cantidades de 5%, 10%, 15% y 20% en volumen como reemplazo de cemento Portland. Los especímenes de prueba fueron cubos de concreto de 100x100x100 mm y vigas de 100x100x500 mm. Sus resultados muestran que bajo un curado con agua, la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto, mejoran hasta un 51.1% y 57.8% respectivamente; también el polvo de cáscara de huevo al llenar los vacíos existentes, reduce la tasa de absorción de agua haciendo más impermeable el concreto. En soluciones ácidas y alcalinas, a medida que aumenta el contenido de cáscara de huevo, la solución reacciona con la pasta, por lo que se reduce la unión de la pasta y por lo tanto, la resistencia también se reduce. Concluyendo que el porcentaje óptimo de cáscara de huevo como reemplazo parcial de cemento es del 15%, y a su vez no reacciona fácilmente en soluciones ácidas y alcalinas.

De similar manera Reiban O., Dayanna V. (2017), estudió la creación de un aditivo basado en la cáscara de huevo, la misma que se reemplazó en un porcentaje del cemento, empleando un cemento Portland ordinario y ceniza de cáscara de huevo. Utilizaron el CaO que poseen las cáscara de huevo de gallina común, criollo, de ganso y de avestruz, en donde evaluaron la resistencia de carga máxima en matrices cementicias. Resultando que la ceniza de cáscara de huevo obtenida se la considera útil y sirve como aditivo para el mortero, gracias a su alta impermeabilidad y resistencia alcanzada en la dosificación del 20% de cáscara de huevo + 80% de cemento; teniendo una proporción de cemento:arena por volumen de 1:2.

En el 2018, Matias, S., realizó una investigación para determinar la resistencia a la compresión de un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, sustituyendo el 10% y 16% del peso de cemento por, 7.5% polvo de cáscara de huevo (PCH) + 2.5% ceniza de hoja de eucalipto (CHE), y 12% polvo de cáscara de huevo + 4% ceniza de hoja de eucalipto. Utilizando cemento Portland tipo I, obtuvo que al usar las sustituciones de CHE y PCH de manera conjunta tienen una potenciación de sus

propiedades y elevan las resistencias de las probetas de concreto de $f'c=210$ kg/cm².

En resumen, durante la búsqueda de sustitutos de cemento y con el fin de disminuir su uso, una opción fue el empleo de cáscara de huevo, lo cual se puede apreciar en los diversos antecedentes mencionados, en donde se estudio la influencia de este en la elaboración de concreto. Se empleo la cáscara de huevo tanto como polvo (molido) o como ceniza (calcinado), y se mezcló con cemento portland normalizado, en donde se estudiaron sus efectos en el fraguado del cemento, resistencia sobre un suelo estabilizado con cemento, resistencia alcanzada en un concreto elaborado con ceniza de cáscara de huevo, así como, el desempeño del polvo de cáscara de huevo en la elaboración de mortero, usando huevo blanco y marrón. Todo estos estudios sirven como base para futuras investigaciones, ya que el comportamiento del concreto depende de diversos factores, tanto de los materiales usados o del ambiente en donde se elabora el concreto.

Tomando en cuenta que, Yeong & Shu Ing, Doh & Chin, S. C (2017) mencionó que el concreto de cáscara de huevo es adecuado para su uso en industrias de prefabricado ya que tienen una buena resistencia inicial, y la disponibilidad de humedad permite que el concreto de cáscara de huevo genere más gel C-S-H (silicato de calcio hidratado) para reducir la permeabilidad del concreto; parte la pregunta ¿Cómo se comportaría la cáscara de huevo al elaborar un concreto con cemento puzolánico?, lo cual fue el punto inicial para elaborar esta tesis.

1.2 PROBLEMÁTICA

El cemento representa alrededor del 10 – 15% de la mezcla para fabricar concreto. La mayoría de las emisiones directas de CO₂ asociadas al concreto provienen de la producción de cemento, mientras que otra parte de las emisiones indirectas de CO₂ provienen de su transporte hasta el cliente final.

Por otro lado, el aumento de la población, sus hábitos de consumo y el auge de la industria ha llevado consigo a la generación de diversos tipos de residuos. Se conoce que dentro de las actividades que generan mayor cantidad de residuos está el sector agroindustrial, el cual en el Perú juega un rol importante.

Dentro de los ejes de mayor influencia para la agroindustria, se encuentra el sector de ovoproductos que en los últimos años ha generado un aumento significativo de su producción sin embargo, este crecimiento no ha ido a la par con el desarrollo de mecanismos para una correcta gestión de residuos. Debido a ello, se generan miles de toneladas de cáscara de huevo que no son aprovechadas generando múltiples problemas. La cáscara de huevo como residuo orgánico al mezclarse con el resto de desechos, genera un tipo de descomposición anaeróbica, a causa de la falta de oxígeno, lo que libera gases contaminantes para el medio ambiente.

Así, en nuestro país, cada año se generan más de 7 millones de toneladas de residuos sólidos municipales al año; alrededor de 20 mil toneladas al día y casi mil toneladas por hora. El 70% de estos residuos se generaron en los domicilios.

No podemos olvidar que más del 70% de los residuos que generamos (más de 5 millones de toneladas de residuos al año) se pueden reaprovechar. Es decir, pueden ser reciclados o pueden utilizarse como insumos de nuevos productos y lo que no se puede reaprovechar debe ser dispuesto en rellenos sanitarios.

En el Perú no contamos con suficiente infraestructura para disponer la basura. Tenemos 47 rellenos sanitarios en todo el país, pero se requieren 344, por lo que más del 85% de nuestra basura termina en botaderos o basurales.

Buscando disminuir el impacto ambiental producido por el cemento Portland, su empleo se debería reducir sin afectar negativamente las propiedades del concreto. Una medida para este propósito es el uso de polvo de cáscara de

huevo como reemplazo parcial del cemento en la elaboración de mezclas de concreto.

En la zona sur del país, el cemento tipo IP es usado generalmente para la mayoría de las construcciones y se desconoce su comportamiento frente al polvo de cáscara de huevo. Tomando en cuenta la investigación de Pliya & Cree (2015), resulta tentativo conocer el comportamiento del polvo de cáscara de huevo reemplazando en proporciones de 5%, 10%, 15% y 20% por peso de cemento.

Conocer dicho comportamiento, ayudará en el avance del conocimiento de polvo de cáscara de huevo, pudiendo obtener un nuevo método de su uso frente a un cemento puzolánico. Logrando de esta manera plantear una alternativa solución frente a los problemas de contaminación ya mencionados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar como influye la cáscara de huevo en las propiedades mecánicas del concreto, sustituyendo parcialmente el cemento por polvo de cáscara de huevo, utilizando cemento portland tipo IP.

1.3.2 Objetivos Específicos

Se buscan los siguientes objetivos específicos:

- a) Evaluar las propiedades del concreto con cáscara de huevo, variando el tipo de cemento y las proporciones de polvo de cáscara de huevo, logrando determinar el porcentaje óptimo de reemplazo en el cemento tipo I y tipo IP.
- b) Determinar las propiedades físicas de la mezcla de concreto elaborado con polvo de cáscara de huevo, tales como el peso unitario, consistencia y tiempo de fragua.
- c) Determinar las propiedades mecánicas del concreto elaborado con polvo de cáscara de huevo a las edades de 3, 7 y 28 días respectivamente.

1.4 HIPÓTESIS

El concreto que resulta al emplear cemento Portland Tipo IP y polvo de cáscara de huevo, tiene un incremento positivo de la resistencia a la compresión alcanzada, sin acarrear efectos negativos en otras propiedades.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

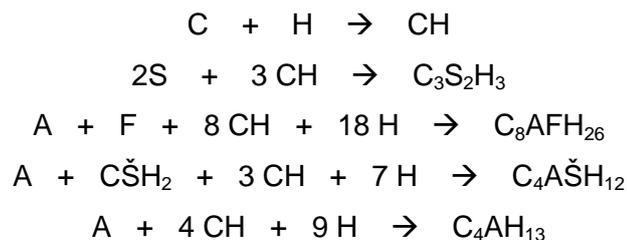
2.1 CEMENTO PORTLAND

2.1.1 Introducción

Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de donde se obtiene un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes.

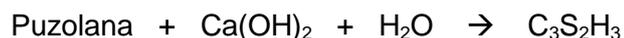
2.1.2 Hidratación del cemento portland con adición puzolánica

Las puzolanas son un material sílico-aluminoso principalmente amorfo, éstas no poseen propiedades aglomerantes por sí solas, están compuestas de los mismos óxidos de Si y Al del clínker, pero con diferentes composiciones mineralógicas. Las reacciones de hidratación que desencadena el uso de puzolanas en el cemento se detallan a continuación:



En el proceso de hidratación, un cemento Portland produce gel de tobermorita e hidróxido de calcio como compuestos primarios. Un cemento con adición puzolánica realiza este mismo proceso, pero el hidróxido de calcio, producto de la hidratación de los silicatos, es consumido por el material puzolánico, produciendo más gel de tobermorita. Este fenómeno otorga características adicionales al cemento con adición puzolánica que no tiene el cemento Portland.

En forma simplificada, cuando hay puzolana en el cemento Portland, actúa de la siguiente forma:



Al incorporar puzolanas al cemento Portland se disminuyen los poros en la pasta, ya que los poros capilares son disminuidos o eliminados, siendo reemplazados los cristales de hidróxido de calcio por $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ adicional de una densidad menor, lo cual mejora las características de durabilidad del concreto.

2.1.3 Tipos de cemento utilizados en la investigación

2.1.3.1 Cemento Portland Tipo I

El cemento tipo I es un cemento para uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales no sean necesarias. Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tanques, embalses, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado. Un ejemplar es el cemento Sol (ver Figura N°1) que se comercializa principalmente en Lima.

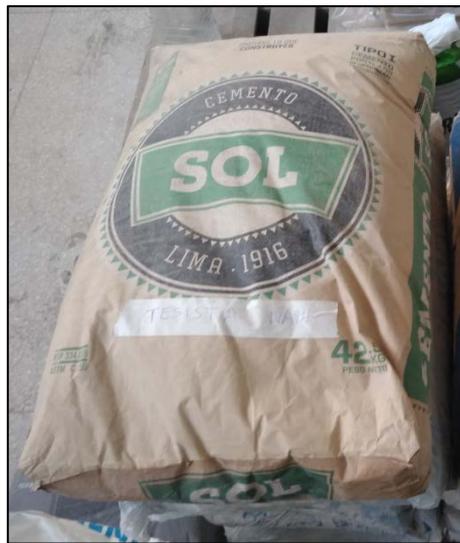


Figura N° 1: Cemento Sol Tipo I
Fuente: Elaboración propia

2.1.3.2 Cemento Portland Tipo IP

Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP. El tipo IP se puede usar para la construcción en general. Se fabrican a través de la molienda conjunta del clinker de cemento portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos esta entre 15% y 40% de la masa del cemento. Un ejemplar es el cemento multipropósito Yura (ver Figura N°2) que se comercializa principalmente en Arequipa.



Figura Nº 2: Cemento Yura Tipo IP
Fuente: Elaboración propia

Características

En concreto fresco:

- Se reduce la exudación (o Bleeding) debido al efecto de la finura de la puzolana, que actúa en este caso como llenador de vacíos en la pasta de cemento y arena.
- Otorga mayor viscosidad a la pasta cemento-arena, controlado satisfactoriamente la segregación de agregado grueso, tanto en el proceso de combinación de materiales como la colocación y vibrado o compactación.

En concreto endurecido:

- La resistencia a la compresión de los concretos preparados con cemento Portland IP, sigue aumentando con el tiempo, mucho más que la de los concretos producidos con cemento Portland I. Este incremento de resistencia se debe a la reacción de sílice contenida en la puzolana con cal libre que es producida durante la fragua del cemento. Este proceso continúa por un tiempo casi indefinido, sin embargo la ganancia significativa de resistencia, puede considerarse terminada a los 10 años.
- La permeabilidad del concreto puzolánico disminuye en el tiempo a causa de la reacción puzolánica y la cristalización de sus compuestos cementicios; esto hace que las construcciones hidráulicas o aquellas

destinadas para contención de líquidos, que sean construidas con cemento puzolánico, tengan mayor impermeabilidad que las realizadas con cemento tipo I.

- La fragua del concreto elaborado con cemento portland IP, desprende moderado calor de hidratación. Esta propiedad lo hace altamente recomendado para vaciados de grandes macizos de concreto y para obras en zonas con altas gradientes térmicas, como lo son las zonas alto andinas del sur del Perú.
- La durabilidad de los concretos elaborados con cemento portland IP, es mayor, ya que es un concreto más homogéneo, con mayor compacidad de la masa de concreto y menor permeabilidad, otorgando una alta resistencia al ataque de los sulfatos. Los concretos puzolánicos son menos susceptibles a la eflorescencia.

2.1.4 Producción global e impacto ambiental

La producción de cemento difiere de un país a otro y depende en gran medida de la disponibilidad de materias primas. Los países que no producen suficiente cemento para satisfacer las necesidades de su país tienen que importarlo de otros países para satisfacer sus necesidades. Una encuesta de la revista Mineral Commodity Summaries 2018 mostró que la producción mundial de cemento superó 4 mil millones de toneladas, donde China dominó la mayor parte del mercado. Mientras que la capacidad de generación de una planta de cemento típica se mantiene en el rango de 1,5 a 2,5 millones de toneladas anuales. En la última década, la tasa de producción de cemento se ha incrementado drásticamente y la industria ha estado creciendo especialmente en países en desarrollo de Asia como China e India.

Los principales impactos ambientales relacionados con el cemento incluyen la energía requerida para la fabricación, la emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero durante la producción y el transporte de clínker, la extracción de recursos naturales y la generación de desechos. Se han realizado muchos estudios ambientales detallados sobre los impactos de los diferentes procesos principales involucrados en la producción de cemento. Las principales fuentes de emisión de gases en la fabricación de cemento Portland se dividen en dos partes:

- Proceso de calcinación que es responsable de alrededor del 50% de las emisiones totales.
- Combustión de combustible utilizado para calentar materias primas.

Los problemas ambientales van desde la escala local, polvo de horno de cemento (CKD), hasta la escala global (como las emisiones de CO_2 - SO_2 - NO_x).

Gartner distinguió las emisiones de CO_2 durante la calcinación (CO_2 de la materia prima) y las emisiones asociadas a la energía (CO_2 ligado a la energía). En cuanto a las emisiones ligadas a la energía, la eficiencia del horno rotatorio juega un papel clave. El uso de un tipo de horno adecuado puede reducir el consumo de energía a menos de 2,9 GJ/tonelada de clínker, mientras que un horno de cemento típico consume 3,1 GJ/tonelada de energía con una emisión de carbono de aproximadamente 0,31 kg.

Las emisiones basadas en materias primas son limitadas. Una opción es el reemplazo parcial de materias primas con materiales cementicios complementarios, como escoria de alto horno o cenizas volantes. Por lo general, se informan niveles de reemplazo de hasta el 10%. Para un 10% de reemplazo de piedra caliza, en teoría, las emisiones de dióxido de carbono se pueden reducir hasta en un 25%.

2.1.5 Residuos como conglomerantes en el cemento

Estos residuos se producen en las fábricas e industrias alimentarias como la agricultura, ganadería, pesca o actividades forestales. Por otro lado, un conglomerante es un material que al hidratarse se vuelve pastoso, se solidifica y adquiere una rigidez, utilizado como medio de unión entre dos materiales.

Los residuos en el mercado se los clasifica en:

- Residuos de base orgánica.
- Residuos de base inorgánica.

Los de base orgánica poseen componentes ricos en calcio, celulosas, lignina, azúcares y materiales fibrosos, ayudando a la ligereza, porosidad y solubilidad de la fracción orgánica; al ser mezclado con el cemento, sufre un cambio de propiedades de aligeramiento, retraso de fraguado, endurecimiento e incremento de agua. Estas sustancias se las obtiene de partes de plantas y árboles como el

tallo del yute, hojas de eucalipto y de materia orgánica residual de origen animal (excremento o cáscaras de huevos), fibras vegetales como el bagazo de caña de azúcar, coco o de la madera de eucalipto, bambú y cáscara de arroz.

Los residuos de base inorgánica tienen alto contenido de sílice y alúmina, con contenidos importantes de álcalis. Sus características de granulometría fina, baja solubilidad y una fracción vítrea al ser mezclados con el cemento forman una reactividad puzolánica que aumenta la durabilidad al momento de compensarlo con plastificantes.

2.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO

El concreto se puede encontrar en estado fresco, en proceso de fraguado o en estado endurecido, y en estos tres estados presenta características típicas, las cuales determinan su desempeño.

2.2.1 Propiedades del concreto fresco

Las propiedades en estado fresco del concreto deben permitir que se llenen adecuadamente los encofrados y los espacios alrededor del acero de refuerzo o armadura, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada.

2.2.1.1 Trabajabilidad o manejabilidad

Es aquella que determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre este y el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada. En otras palabras, es la capacidad que el concreto tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna.

La trabajabilidad se selecciona según el tamaño y características de la sección a construir, las condiciones de colocación de la mezcla y el sistema de compactación utilizado. Está influenciado principalmente por el contenido de agua de mezclado, contenido de aire, propiedades de los agregados y condiciones climáticas.

Las propiedades tales como cohesión y adhesión son las que determinan el grado de manejabilidad y usualmente son juzgadas por examen visual y manipulación del concreto.

Ensayo de asentamiento

Es una medida de la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla, esto indica qué tan seca o fluida está cuando se encuentra en estado plástico y no constituye por si misma una medida directa de la trabajabilidad. En el Figura N°3 se aprecia el ensayo del asentamiento del concreto.



Figura N° 3: Ensayo de asentamiento del concreto
Fuente: Elaboración propia

Se puede clasificar al concreto de acuerdo a su asentamiento en tres grupos:

- Concreto consistentes o secos, con asentamiento de 0" a 2".
- Concreto plástico, con asentamiento de 3" a 4".
- Concreto fluido, con asentamiento con más de 5".

Otras propiedades tales como cohesividad, facilidad de colocación y terminación son también importantes, pero no son medidas por este ensayo, de esta manera la medida de asentamiento solo es un índice representativo del conjunto de dichas propiedades, que no las pondera según la influencia de cada una sobre el concreto, lo cual da lugar a que algunas características no queden bien representadas.

El concreto en estado fresco se clasifica de acuerdo a la consistencia de la mezcla: muy seca, seca, semiseca, media, húmeda y muy húmeda.

2.2.1.2 Segregación

Un aspecto importante de la trabajabilidad y que generalmente se considera como otra propiedad, es la inclinación a la segregación, definida como tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de mortero en el perímetro del concreto colocado, esto por su falta de cohesividad, con lo cual su distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo.

La segregación se puede presentar de dos formas. Una de ellas ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse, bien sea, porque se desplazan a lo largo de una pendiente o porque se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo se presenta particularmente en mezclas húmedas, y se manifiesta por la separación de una parte de los agregados.

2.2.1.3 Exudación o sangrado

Es una forma de segregación o sedimentación, en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado. Esto obedece a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación del concreto está influenciada por las proporciones de la mezcla y las características de los materiales, el contenido de aire, el uso de aditivos convencionales o minerales y particularmente por la angularidad y gradación del agregado fino.

2.2.1.4 Masa unitaria

La masa unitaria del concreto fresco y del endurecido depende del tamaño máximo, granulometría y densidad de los agregados, así como también de la cantidad de aire atrapado e incorporado, y del contenido de agua y cemento. En el Figura N°4 se aprecia el ensayo de peso unitario del concreto.

La densidad y cantidad de cada agregado afecta la masa unitaria del concreto en estado fresco. Cuando estos son de muy alta porosidad, la masa unitaria del concreto puede variar dependiendo del grado de saturación de los agregados antes de la mezcla.



Figura N° 4: Ensayo de peso unitario del concreto
Fuente: Elaboración propia

2.2.1.5 Contenido de aire

Este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y formando burbujas entre los componentes del concreto, bien sea porque es atrapado durante el mezclado o al ser intencionalmente incorporado por medio del uso de agentes inclusores, tales como cementos o aditivos incorporadores de aire.

Los factores que afectan la cantidad de aire en el concreto son dos: uno es la cantidad de material que pasa el tamiz 75 μm (N° 200) y el segundo es la materia orgánica.

2.2.1.6 Contenido de agua

El contenido de agua es un factor determinante para el desempeño del concreto. Cuando se presenta variación en las propiedades en estado fresco de una cantidad de mezcla a otra, es probable que se deba a un cambio en el contenido de agua de la mezcla, lo cual originaría un efecto desfavorable en las propiedades del concreto endurecido.

2.2.2 Proceso de fraguado

Durante el fraguado del concreto pasa de un estado plástico, donde se deforma indefinidamente por la aplicación de carga, a uno en que se comporta de manera elástica ante la acción de la misma. Los cambios que se pueden observar en el

concreto durante este proceso son el tiempo de fraguado y la contracción plástica.

La clasificación de acuerdo con el tiempo de fraguado se hace en concretos de fraguado lento, normal y rápido.

El tiempo de fraguado del concreto es necesariamente un valor arbitrario tomado en algún punto del proceso gradual de endurecimiento, definido en términos de un método de ensayo como el de resistencia a la penetración. Ver Figura N°5.



Figura N° 5: Ensayo de tiempo de fragua por método de resistencia a la penetración
Fuente: Elaboración propia

La resistencia a la penetración se usa para concretos con asentamientos mayores que cero. Este ensayo es similar al efectuado con la aguja de Vicat, y consiste en tomar una muestra de mortero procedente del tamizado de una porción de concreto fresco, a través de una malla de 4.76mm (N° 4). Se somete periódicamente a la penetración de agujas de punta plana cuyas áreas varían entre 645 mm² y 16 mm²; se determina para que la aguja penetre 25 mm dentro del concreto y se registra el tiempo a partir del momento de mezclado y se dibuja una curva que tenga en el eje X el tiempo y en eje Y el esfuerzo a la penetración.

De dicha curva se toma como tiempo de fraguado inicial aquel cuya resistencia a la penetración es de 3.5 Mpa (35 Kg/cm²) y como tiempo de fraguado final aquel que alcanza un valor de 28 Mpa (285 Kg/cm²). Estos puntos, arbitrariamente escogidos, son de mucha ayuda en estudios comparativos de varios factores.

Los parámetros que mayor incidencia tienen sobre el tiempo de fraguado son: el tipo de cemento utilizado, la temperatura ambiente y la del concreto.

2.2.3 Propiedades del concreto endurecido

El concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, dependiendo de las propiedades tanto físicas, químicas y mecánicas de sus componentes, y de la interacción de cada uno de ellos.

2.2.3.1 Resistencia

La resistencia del concreto es comúnmente considerada como la característica más valiosa aunque en muchos casos son otras, como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen, las que pueden ser importantes. Sin embargo la resistencia suele dar un panorama general de la calidad del concreto, por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento.

La resistencia, así como los cambios en la durabilidad y volumen de la pasta endurecida de cemento, al parecer no dependen tanto de la composición química como de la estructura física de los productos de la hidratación del cemento y de sus proporciones volumétricas relativas. En particular, lo que importa es la presencia de grietas, discontinuidades y poros. Para comprender su influencia en la resistencia es indispensable considerar las mecánicas de las fracturas del concreto bajo esfuerzo.

La resistencia es una habilidad para resistir esfuerzos y de allí que se pueda considerar de cuatro maneras: compresión, tracción, flexión y corte. El concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los de tracción, razón por la cual, la resistencia a la compresión simple es la propiedad a la que se le da mayor importancia.

Resistencia a la compresión

En términos generales, la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad.

La determinación de la resistencia a compresión se da a través de ensayos en probetas de concreto o mortero.

Resistencia a la tracción

Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos a tracción.

Resistencia a la flexión

Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos de tracción.

Resistencia al corte

La resistencia del concreto a esfuerzos cortantes es baja.

2.2.3.2 *Peso unitario (densidad)*

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico que varía de 2200 hasta 2400 Kg/m³. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento.

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas que tienen mayor importancia en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto son: granulometría o gradación, densidad, porosidad, masa unitaria, forma y textura de las partículas.

2.3.1 Granulometría o gradación

Es la composición, en porcentaje, de los diversos tamaños de agregado en una muestra. Esta proporción se suele indicar; de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición.

Para obtener un buen concreto, es necesario que la mezcla de la arena y de la piedra logre una granulometría que proporcione masa unitaria máxima, puesto que con esta condición el volumen de los espacios entre partículas es mínimo y

por consiguiente la cantidad de pasta necesaria para pegarlas y para llenar los espacios entre ellas será mínimo, lo cual dará lugar a una mezcla de mejores condiciones técnicas y además, económica.

El tamaño de un agregado se define mediante el empleo de un tamiz de referencia. El tamaño máximo corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie de tamices que permite el paso del 100% del material y el tamaño máximo nominal es el de la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

El tamaño máximo nominal de la piedra que se va a usar para fabricar concreto tiene importancia porque se relaciona con la facilidad y posibilidad de llenar los moldes o encofrado, y porque se relaciona con la resistencia del concreto.

Análisis granulométrico

La operación de separar una masa de agregado en fracciones de igual tamaño, consiste en hacerla pasar a través de una serie de tamices, que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma NTP 400.012. Se debe mencionar que los límites granulométricos recomendados se presentan en la norma NTP 400.037 para agregados finos y gruesos. Dichos límites granulométricos se aprecian en la Tabla N° 1 y Tabla N° 2 para el agregado fino y grueso respectivamente.

Tabla N° 1: Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

Tabla N° 2: Límites granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO MONIMAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 ½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 ½ a ¾ in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a ½ in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	0 a 10	0 a 5	-	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (¾ a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (¾ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (½ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (¾ in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (¾ in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5	-
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5	-

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

Módulo de finura

Es un índice, para determinar características granulométricas de los agregados. El valor de módulo es mayor, cuando el agregado contiene granos más gruesos y decrece cuando el agregado disminuye de tamaño.

2.3.2 Forma de las partículas

La forma de las partículas influye directa o indirectamente en el comportamiento del concreto, ya que se relaciona con la trabajabilidad, la resistencia y otras propiedades.

En los agregados para concreto, el contenido de las partículas planas o de las alargadas debe ser mínimo, puesto que esta clase, es perjudicial para el buen comportamiento del concreto.

2.3.3 Textura

Tiene especial importancia por su influencia en la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado, así como también por su efecto sobre las propiedades del concreto.

Es deseable que las partículas tengan superficie áspera para que haya buena adherencia con la pasta de cemento, especialmente en los concretos de resistencia superior a los 28 Mpa (285 Kg/cm²) a 28 días de edad.

2.3.4 Densidad

Es una de las propiedades del agregado que depende directamente de la roca original de donde proviene y está definida como la relación entre la masa y el volumen de una masa determinada.

En el campo de tecnología de concreto, la densidad aparente es la más importante, debido a que con ella se determina la masa de agregado requerido para un volumen unitario de concreto.

2.3.5 Porosidad y absorción

De las varias porosidades que se reconocen en un agregado, se suele medir la porosidad superficial o saturable mediante el ensayo indirecto de la absorción de agua. Cuanto más poroso es, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto,

cuanto menor sea la absorción, es más compacto y de mejor calidad. Pero el dato resulta de extraordinaria importancia en la etapa de ajustes de las condiciones reales de los materiales, ya que por su valor es posible hacer las correcciones necesarias en la cantidad de agua que se debe incorporar.

Desde el punto de vista de la porosidad y la capacidad de absorción de agua, el grano de agregado puede presentar una de las siguientes cuatro posibilidades:

- Absolutamente seco, con todos los poros vacíos, internos y superficiales.
- Seco al aire o exteriormente, con parte de la masa y de los poros internos llenos.
- Saturado y superficialmente seco, con toda la masa y los poros internos y de superficie llenos, pero con la superficie seca.
- Húmedo, cuando además de llenos todos sus poros, internos y superficiales, y de saturada toda su masa, se acumula humedad en la superficie.

2.3.6 Masa unitaria

La conexión entre la masa del material que cabe en un determinado recipiente y el volumen de ese, da una cifra llamada masa unitaria. Si la colocación del agregado dentro del recipiente se ha hecho por simple efecto de la gravedad, desde una cierta altura de caída, se denomina masa unitaria suelta. Cuando la colocación se ha hecho en capas, posteriormente compactadas por golpes de una barra metálica, se le nombra masa unitaria compacta.

2.4 CÁSCARA DE HUEVO

2.4.1 El huevo

Un gran número de industrias utilizan el huevo como ingrediente de otros alimentos porque aporta además de su alto valor nutritivo y sus cualidades organolépticas, una amplia gama de propiedades funcionales que son necesarias o convenientes para los procesos de fabricación de muchos alimentos.

El manejo de grandes cantidades de huevos en la industria implica una serie de operaciones como el almacenamiento, cascado y la gestión de las cáscaras resultantes como residuos, por lo que resulta poco práctico el uso de huevos en cáscara. Por ello se desarrolló la industria de procesado del huevo, conocida

como de elaboración de ovoproductos, que suministra a cada cliente el producto que requiere, transformado y presentado según los usos previstos.

Los ovoproductos son huevos enteros, claras o yemas que han sido transformados mediante un proceso industrial, normalmente térmico (pasteurización, cocción, deshidratación, liofilización, congelación) para ser utilizados como ingredientes de otros alimentos en la hostelería o en los procesos de la industria alimentaria.

2.4.2 Características y estructura del huevo

La estructura del huevo está diseñada por la naturaleza para dar protección y mantener al embrión del que surgiría el pollito después de la eclosión.

El corte transversal de un huevo permite diferenciar nítidamente sus partes: la cáscara, la clara o albúmen y la yema, separadas entre sí por medio de membranas que mantienen su integridad. Ver Figura N° 6.

El peso medio de un huevo está en torno a los 60 gr., de los cuales aproximadamente la clara representa el 60%, la yema el 30% y la cáscara, junto a las membranas, el 10% del total.

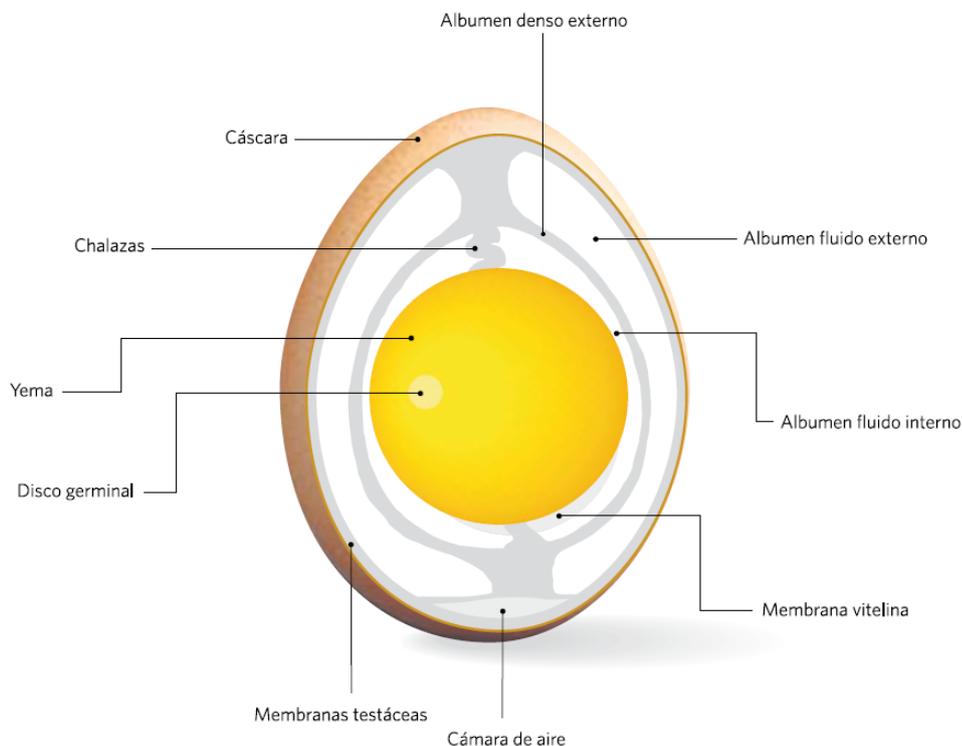


Figura N° 6: Corte transversal del huevo y sus partes
Fuente: El gran libro del huevo – Instituto de estudios del huevo

La cáscara de huevo posee tres membranas tanto interna como externa:

- Dos membranas externas: están ligadas entre sí por un colchón y el espacio encerrado entre ellas se encuentra relleno por un líquido bajo presión que se endurece luego de la postura, constituyendo la cáscara de carbonato de calcio. La membrana externa y los colchones se secan y desaparecen, dejando poros para la respiración del embrión.
- Membrana interna: permite el cambio de oxígeno por ósmosis, los carbonatos son prismáticos con dimensiones de 300 micrones de largo y 50 micrones de diámetro.

La cáscara es la cubierta exterior del huevo y tiene gran importancia, ya que mantiene su integridad física y actúa como barrera bacteriológica. La cáscara está constituida en su mayor parte por una matriz cálcica con un entramado orgánico.

En su composición se encuentran otros minerales como sodio, magnesio, zinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en menores concentraciones, es una biocerámica estructurada por 4 capas (ver Figura N° 7):

a) Membrana de la cáscara.

Es la capa más interna de la cáscara de huevo, formada por un entramado fibrilar con un peso en conjunto de 145 mg y con un diámetro de 70 nm, valores aproximados.

Se compone de dos subcapas, una interna de 20 μm de grosor en contacto con la albúmina y otra externa de 50 μm de grosor en la zona mineralizada de la cáscara y la membrana interna.

b) Capa mamilar.

Constituida por menos de 1/3 del grosor de la cáscara y es donde se inicia la mineralización. Las mamilas son pequeñas masas de material orgánico distribuidas y unidas a la superficie externa de la membrana externa y se encuentran los depósitos de cristales de calcita. Su estructura determina los factores determinantes de solidez de la cáscara, la correlación entre la densidad de las mamilas y su solidez.

c) Capa de empalizada.

Es la capa más gruesa de la cáscara compuesta por componentes orgánicos que es la matriz de la cáscara y corresponde al 2-5% de peso seco y un 2% de proteico, los inorgánicos que corresponde al carbonato de calcio en forma de calcita. La cáscara posee poros que permiten el intercambio gaseoso con una forma de embudo con su base amplia dirigida hacia la superficie. Su composición es de un 70% de proteínas, 11% de polisacáridos y lípidos.

d) Cutícula.

Es la capa más externa del huevo, compuesta por glicoproteínas con pigmentos que dan la coloración de la cáscara con un grosor de 10 μm en promedio que cubren los poros preservando el interior del huevo de la contaminación microbiana, dándole la función de proteger al huevo de la pérdida excesiva de agua por un mecanismo que depende de la humedad ambiental.

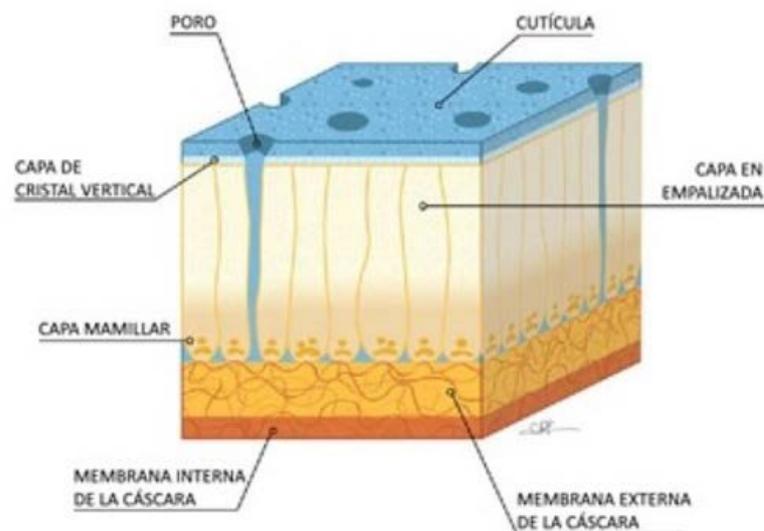


Figura N° 7: Estructura de la cáscara de huevo
Fuente: Hincke et al., 2012

2.4.3 Caracterización química de la cáscara de huevo

Se sabe científicamente que la cáscara de huevo está compuesta principalmente de compuestos de calcio. Hincke 2012, presentó que la cáscara de huevo está compuesta por un 96% de carbonato de calcio. Los componentes restantes incluyen la matriz orgánica (2%), así como magnesio, fósforo y una variedad de oligoelementos. De manera similar, el carbonato de calcio (CaCO_3) es la materia prima principal en la producción de cemento. El cemento Portland ordinario

producido está compuesto de cuatro compuestos de calcio principales en forma de silicatos dicálcicos (C2S), silicato tricálcico (C3S), aluminato tricálcico (C3A) y aluminato tetracálcico (C4AF). Por lo tanto, el cemento y las cáscaras de huevo tienen la misma composición primaria en compuestos de calcio. El carbonato de calcio es común en la cáscara de huevo y el cemento, siendo un mineral que se encuentra en abundancia en la naturaleza.

A continuación tenemos los resultados de la caracterización que se realizaron a unas muestras de polvo de cáscara de huevo, los mismos que se usaron en esta investigación: (Detalles en el Anexo C)

- Análisis de composición química elemental de la cáscara de huevo (Ver Tabla N°3).

Tabla N° 3: Resultados de caracterización 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ⁽¹⁾	MÉTODO UTILIZADO
Calcio, Ca	98.604	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Estroncio, Sr	0.699	
Potasio, K	0.375	
Azufre, S	0.255	
Fósforo, P	0.068	

⁽¹⁾ Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X.

Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.

Fuente: LABICER - UNI

- Análisis de composición química expresado en óxidos de la cáscara de huevo (Ver Tabla N°4).

Tabla N° 4: Resultados de caracterización 2

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ^(1,2)	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	97.103	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽³⁾
Óxido de potasio, K ₂ O	2.067	
Óxido de estroncio, SrO	0.563	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.205	
Óxido de azufre, SO ₃	0.061	

⁽¹⁾ Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Resultados expresados en óxidos según pedido del solicitante.

⁽³⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.

Fuente: LABICER - UNI

2.4.4 Situación de la cáscara de huevo

Dado que la generación de cáscara de huevo está condicionada con la producción y consumo de huevo, se expondrá de manera general el panorama y mercado del huevo de gallina de los últimos años.

Partiendo de que el huevo es un producto que contribuye de manera significativa en la alimentación de la persona. Durante los últimos 18 años, el consumo del huevo en el mundo tuvo un crecimiento sostenido, con algunas escasas excepciones, pero en general este incremento fue bastante considerable. Tanto la producción como el consumo de huevo se fueron incrementando, básicamente por el crecimiento de la población.

A finales del 2019 el consumo per cápita del huevo de gallina en el Perú asciende a 14,1 kg/hab/año (224 huevos/hab/año); siendo México el país con mayor consumo per cápita en el mundo, que alcanzó durante el año 2019 los 22,9 kg/hab/año (367 huevos/hab/año).

La producción mundial de huevo de gallina se incrementó desde el año 2000 al 2017 en 56,6%; obteniendo durante este periodo un crecimiento a una tasa promedio anual de 2,7%. Para el año 2017 la producción mundial de huevo alcanzó los 1 417 billones de unidades. En el Figura N° 8 se muestra la tendencia de la producción mundial de este producto.

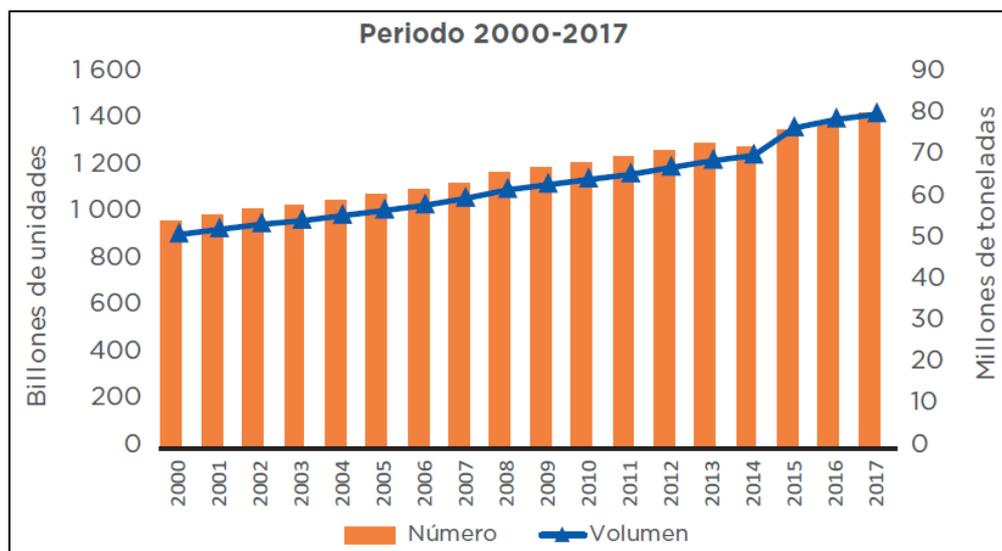


Figura N° 8: Tendencia en la producción mundial de huevo de gallina
Fuente: FAOESTAD

Los países que presentan la mayor producción de huevo de gallina en el mundo vienen siendo China que participa con el 39,1%; seguidos de Estados Unidos (7,8%), India (6,1%), México (3,5%), Japón (3,2%), Brasil (3,2%), Federación Rusa (3,1%), Indonesia (1,9%), Turquía (1,5%) y Francia (1,2%); conforme se muestra en el Figura N° 9. El resto de países participan en su conjunto con el 29,4%.

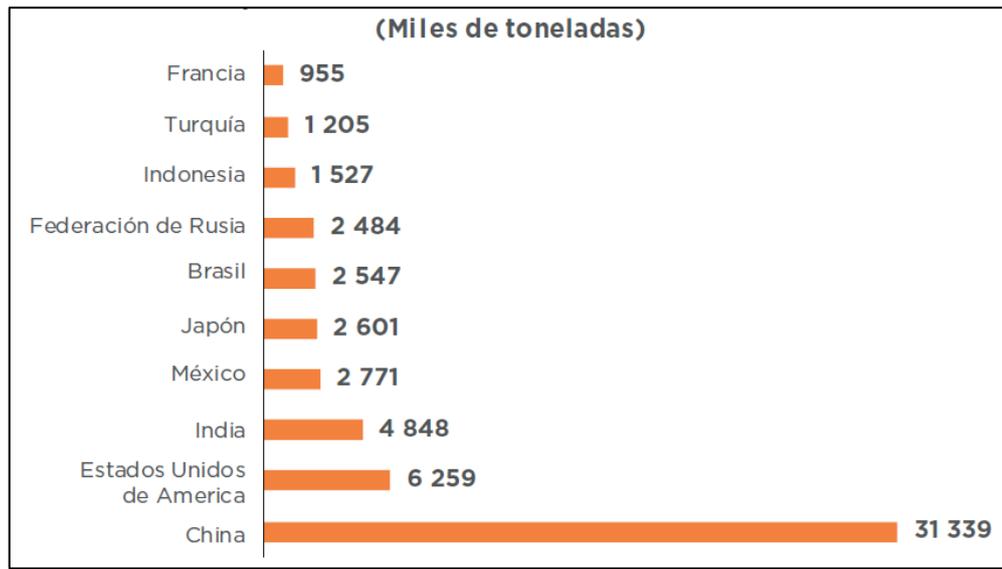


Figura N° 9: Principales países productores de huevo de gallina – Año 2017
Fuente: FAOESTAD

En el ámbito nacional de acuerdo con los reportes mostrados en el portal del Sistema Integrado de Estadística Agraria, la producción de huevos de gallina en el año 2018, superó las 452 mil toneladas, lo que indica un aumento del 9,0% con respecto a similar periodo del año anterior. Asimismo, durante el periodo 2000 al 2018 se observa un crecimiento a una tasa anual del 5,3%.

En cuanto a la distribución de la producción de huevo de gallina, según reportes presentados por el Sistema Integrado de Estadística Agraria, los datos correspondientes al año 2018 señalan que la producción de huevos se concentró principalmente en las regiones de Ica (180 mil toneladas), Lima (124 mil toneladas), La Libertad (76 mil toneladas), Arequipa (17 mil toneladas) y San Martín (14 mil toneladas); el resto de las regiones producen en su conjunto 35 mil toneladas; la distribución general de producción de huevo de gallina se muestra en el Figura N° 10.

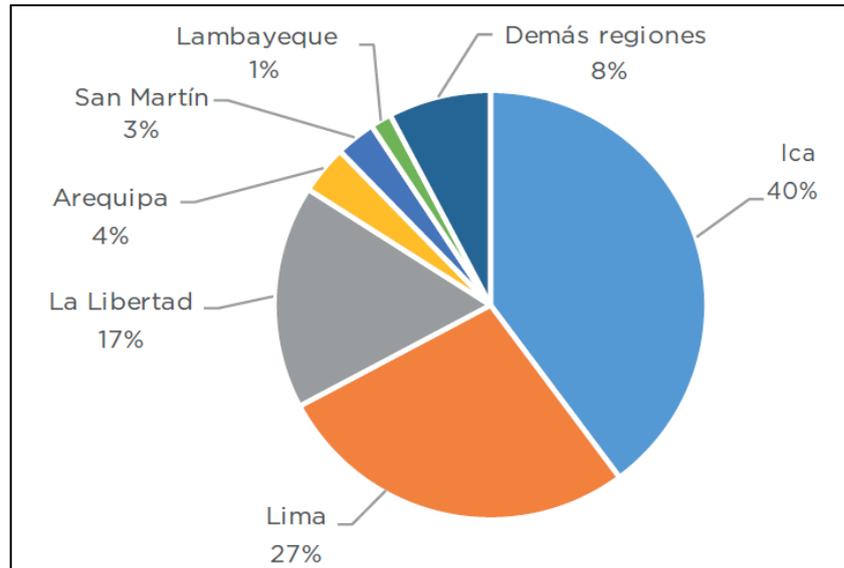


Figura N° 10: Distribución regional de la producción de huevo de gallina – Año 2018
Fuente: SIEA

2.4.5 Producción de huevo y cáscara de huevo

La producción de huevo de gallina ha ido creciendo año tras año, según el Boletín estadístico mensual de Producción y Comercialización de Productos Avícolas – MIDAGRI, se obtuvieron datos correspondientes a la producción de huevo de los últimos años y los resultados se plasmaron en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5: Producción nacional de huevo de gallina

Año	Producción de huevo (Miles de toneladas)
2015	386.3
2016	401.0
2017	415.3
2018	452.4
2019	488.3
2020	497.4
2021	504.3

Fuente: Elaboración propia

En el Figura N° 11 se observa como existe una tendencia de incremento de la producción de huevo; por lo tanto, a medida que la población crece cada año, también lo hará la demanda de huevo, ya que es un alimento primordial de cada familia y con un gran valor nutricional.

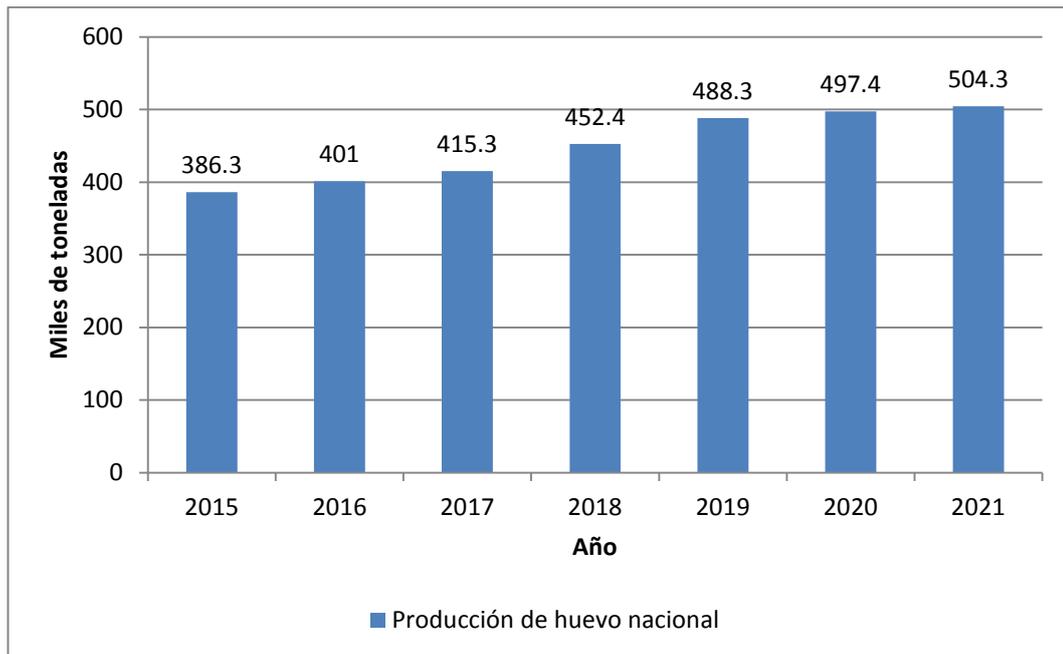


Figura N° 11: Producción de huevo nacional
Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la producción de huevo del año 2019, 2020 y 2021, se estima una producción mensual promedio de 41 mil toneladas de huevo (Ver Tabla N° 6).

Tabla N° 6: Principales regiones de producción de huevo

Región	Producción de huevos (Toneladas)		
	Año		
	2019	2020	2021
Ica	197407	200811	203352
Lima	131293	134864	138208
La Libertad	84438	86531	87763
Arequipa	17890	17796	18131
San Martín	13861	13981	14240
Resto*	43595	43542	42418

Fuente: Elaboración propia

Según el Instituto de Estudios del Huevo, el peso medio del huevo es de 60 gr y la cáscara junto a las membranas pesarían 5 gr y 1 gr respectivamente, lo que representaría el 10% del peso medio del huevo.

Con lo anterior, se puede estimar que 41 mil toneladas de huevo que se producen mensualmente derivan indirectamente en 3416 toneladas de cáscara de huevo a nivel nacional, de estos, un gran porcentaje termina en los botaderos

y sólo una pequeña parte de reutiliza para fines variados. En la Tabla N° 7 se aprecia la producción nacional de huevo para el año 2022.

Tabla N° 7: Producción de huevo del año 2022

Meses	Producción de huevo Año 2022 (Miles de toneladas)
Ene	42.2
Feb	42.1
Mar	41.9
Abr	41.8
May	42.0
Jun	41.7
Jul	41.9
Ago	42.1
Set	42.2
Oct	42.6

Fuente: Elaboración propia

2.5 EQUIPOS PARA CARACTERIZACIÓN

2.5.1 Espectroscopio de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva

La fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF) es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva (en algunos casos en los que la penetración de los rayos X no fuera suficiente se requerirían cortes o pulidos, dependiendo también de la uniformidad de la muestra) relativamente nueva, que reconoce un gran número de elementos químicos (no compuestos químicos) y presenta los resultados en tiempo real, permitiendo decidir la necesidad de muestreo adicional ante resultados analíticos no concluyentes. Logra alcanzar unos límites de detección de hasta 0.002% (20 ppm).

La técnica EDXRF utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X que se genera al excitar una muestra con una fuente emisora de rayos X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Entonces, los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones: la llamada radiación X fluorescente o secundaria. Esta radiación de fluorescencia es característica para cada elemento químico. Por lo tanto, es

posible identificar un elemento dentro del espectro de la muestra si se conoce la energía entre los orbitales atómicos implicados (longitud de onda). La concentración de cada elemento se detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones. Es decir, la salida de un análisis EDXRF es un espectro que muestra la intensidad de radiación en función de la energía.

La caracterización de nuestras muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER FC-UNI), se utilizó el equipo EDX-800HS (ver Figura N° 12) que permite una alta resolución espectral con su detector de Si (Li), siendo detectados, en un barrido completo, elementos desde el sodio (Na) al Uranio (U) con un límite de detección de 0.002% (20ppm) en un tiempo estimado de 200 segundos por cada muestra.



Figura N° 12: Equipo EDX-800HS
Fuente: LABICER - UNI

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de esta tesis fue la experimentación apoyada en la observación científica, se comparó la resistencia del concreto patrón respecto al concreto experimental, el cual tiene una manipulación de variable que consiste en sustituir el 5%, 10%, 15% y 20% de peso del cemento por polvo de cáscara de huevo.

Cabe señalar que se usaron dos tipo de cemento, cemento tipo I (producto obtenido de la molienda conjunta de clínker y de yeso) y tipo IP (producto de la molienda conjunta de clínker, yeso y puzolana), de los cuales se ensayarán sus respectivas mezclas de concreto y se evaluarán por medio de los ensayos de compresión de probetas (probetas cilíndricas de 100 x 200 mm).

Se optó por una investigación aplicada, porque se plantea una solución directa al problema planteado en esta tesis, para lo cual se procedió a la experimentación por medio de una serie de ensayos que demostraron la eficacia de la sustitución del cemento en 5%, 10%, 15% y 20% por polvo de cáscara de huevo.

Se pudo prever la eficacia de la cáscara de huevo, puesto que ésta posee un alto contenido de óxido de calcio (CaO), el cual fue aprovechado como sustituto del cemento.

Para la experimentación se usaron procedimientos y ensayos experimentales normados según la Norma Técnica Peruana (ver Figura N° 13), y a la vez se necesitó del apoyo de bases teóricas ya conocidas.



Figura N° 13: Norma Técnica Peruana
Fuente: INACAL

3.2 LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales N° 1 de la Universidad Nacional de Ingeniería. La trituración de las cáscaras de huevo se realizó de manera casera en mi domicilio y la caracterización de la cáscara de huevo en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER FC - UNI).

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRAS PARA LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de estudiar el comportamiento del concreto experimental, se realizaron ensayos en probetas de concreto patrón y de concreto experimental (sustituyendo en 5%, 10%, 15% y 20% por polvo de cáscara de huevo), los mismos que se usaron como parámetros de comparación para analizar sus resistencias a la compresión.

La población de muestras está constituida por el conjunto de probetas de concreto elaboradas en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales N° 1 de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se tuvo en cuenta las probetas de concreto patrón y concreto experimental, las cuales se ensayaron siguiendo los procedimientos normados en la NTP 339.034:2021 y ASTM C 39/C 39M-21. La norma NTP 339.034:2021 indica que para el ensayo de resistencia a la compresión de probetas, se deben ensayar 3 probetas de concreto por edad, por lo que se considera como mínimo 3 probetas de concreto por cada edad y de 9 probetas de concreto como máximo por cada edad. De esta manera se calculó que el tamaño de la población es igual a 150 probetas de concreto.

De manera similar también se tiene otro grupo de probetas de concreto patrón y concreto experimental, las cuales se ensayaron siguiendo los procedimientos normados en la NTP 339.084:2012 (revisada el 2017). Para el ensayo de resistencia a tracción simple se considera 3 probetas de concreto a la edad de 7 días y 3 probetas para la edad de 28 días. De esta manera se calculó que el tamaño de la población es igual a 60 probetas de concreto.

3.4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La metodología de esta tesis es la experimentación apoyada de la observación científica, por lo que se hace necesario el uso de formatos de los ensayos. Se debe tener en cuenta que en la ejecución de los ensayos de laboratorio se deben considerar aspectos que sólo se pueden analizar e interpretar visualmente.

Los formatos de ensayo se diseñaron siguiendo el correcto procedimiento que se encuentra en la norma técnica respectiva. Es así que con este formato de ensayo se puede observar y analizar todos los procesos de la experimentación de los ensayos realizados en el laboratorio.

Los formatos de ensayo comprenden aspectos de acuerdo a los siguientes ensayos de laboratorio (ver Figura N°14):

- Propiedades de los agregados.
- Trabajabilidad del concreto: Ensayo de asentamiento.
- Tiempo de fraguado del concreto.
- Peso unitario del concreto.
- Resistencia de compresión del concreto.
- Resistencia de tracción simple del concreto.

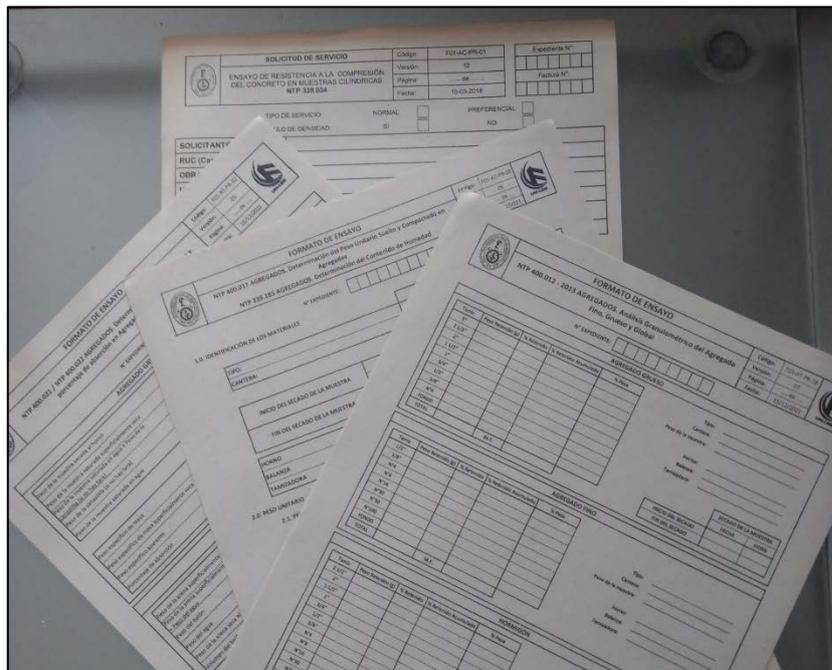


Figura N° 14: Formato de ensayo
Fuente: Elaboración propia

3.5 PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN

Se ejecutaron una serie de pasos, los cuales se basaron en antecedentes y fundamentos teóricos, así como también en el criterio personal.

Obtención del polvo de cáscara de huevo

Se recolectó las cáscaras de huevo frescas de manera casera en el domicilio y también de una empresa dedicada al rubro de ovoproductos (OVOSUR), ubicada en la Alameda Marquéz de la Bula N1 Lote 7, Urb. Los Huertos de Villa – Chorrillos - Lima. Luego se lavaron las cáscaras en agua, eliminando los restos de la yema y clara del huevo, y una parte de las membranas. Se dejaron secar las cáscaras de huevo a temperatura ambiente. Después se trituró manualmente usando un rodillo de madera y luego procedió a cernir, con esto se consiguió separar la cáscara (parte inorgánica) y la membrana (parte orgánica), logrando eliminar la membrana. Se volvió a triturar la cáscara de huevo pero esta vez usando un molino manual de granos, hasta volverlas en un material mas fino similar al polvo. Por último utilizando el tamiz de malla N° 50 se tamizó el polvo de cáscara de huevo para así obtener un polvo fino y uniforme. Se obtuvo un total de 50 kg de polvo de cáscara de huevo para la presente investigación.

En en Anexo D (Página 172 Y 173, fotografía 1 al 4) se pueden apreciar las fotografías de este proceso.

Determinación de la composición química del polvo de cáscara de huevo

La composición química fue analizada por espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF) en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería. Siendo el equipo utilizado, un espectrómetro de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva Shimadzu EDX 800HS, para el cual se utilizó una muestra de 15 gr. de polvo de cáscara de huevo.

Obtención de los agregados a utilizar

Se obtuvo 1120 kg de arena gruesa de la cantera de Trapiche y 1270 kg de piedra chancada de ½ de la cantera de UNICON. Estos agregados se almacenaron en bolsas gruesas de plástico para evitar que pierdan humedad en el transcurso de tiempo.

Determinación de las características de los agregados

Los agregados obtenidos se analizaron para conocer sus propiedades físicas, se realizó el ensayo de granulometría para conocer su gradación, de igual forma se realizaron ensayos para conocer el peso unitario, peso específico, grado de absorción y grado de humedad de los agregados. Hay que señalar que los agregados se conservaron en bolsas plásticas, para evitar cambios en la humedad de la arena gruesa y de la piedra chancada.

Elaboración del diseño de concreto patrón

Se utilizó el método del agregado global para el diseño del concreto, buscando reducir la cantidad de vacíos y mejorar la trabajabilidad de la mezcla resultante.

El procedimiento que se sigue para el diseño de mezcla es el siguiente:

- a) Cálculo de la resistencia promedio
- b) Elección del asentamiento
- c) Selección del tamaño máximo del agregado grueso
- d) Estimación del agua de mezclado
- e) Estimación del contenido de aire
- f) Selección de la relación agua/cemento
- g) Cálculo del contenido de cemento
- h) Cálculo del volumen total de agregado en la mezcla
- i) Por el ensayo de máxima compactación se obtienen los porcentajes óptimos en peso de los agregados
- j) Cálculo del volumen de agregados en estado seco
- k) Cálculo del peso de agregados en estado seco
- l) Corrección del peso de los agregados por humedad
- m) Corrección del agua de diseño
- n) Se obtiene los valores de diseño

Elaboración de la mezcla

Para el concreto patrón se pesan los materiales como los agregados, el agua y el cemento de acuerdo a los valores de diseño obtenido, por otro lado de manera similar para el concreto experimental se pesan los materiales de acuerdo a los valores de diseño pero se reemplaza un porcentaje del peso de cemento por polvo de cáscara de huevo.

Para la elaboración de la mezcla de hará uso de una mezcladora de concreto perteneciente al Laboratorio de Ensayo de Materiales N° 1 (LEM-UNI).

Para la mezcla del concreto patrón primeramente se agrega a la mezcladora la piedra chancada, luego la arena gruesa, y un poco del agua de diseño, posteriormente se mezcla durante 30 s, esto con la finalidad lograr que los agregados se combinen bien y el poco de agua agregado logra darle la humedad requerida para no levantar polvo durante el mezclado previo.

Después se agrega el cemento, se cubre la entrada de la mezcladora con una tapa y se enciende la mezcladora hasta obtener una mezcla visualmente homogénea.

Se vierte lentamente el agua de diseño restante durante 30 s mientras se mezcla, se deja mezclar por 4 min, después se detiene la mezcladora y se deja reposar por 2 min para luego encender la mezcladora por 4 min más, obteniendo así nuestro concreto patrón.

Por otro lado para la mezcla del concreto experimental se agregará a la mezcladora, la piedra chancada y la arena gruesa, seguido de un poco de agua con el fin de lograr humedecer el agregado vertido, luego se enciende la mezcladora y se mezcla por 30 s. Después se agrega el cemento y el polvo de cáscara de huevo, también otro tanto de agua y se cubre la entrada de la mezcladora con una tapa para evitar perder material durante el mezclado. Se enciende la mezcladora hasta obtener una mezcla homogénea y se vierte lentamente el agua restante durante 30 s mientras se mezcla, se deja mezclar por 4 min, después se detiene la mezcladora y se deja reposar por 2 min para luego volver a encender la mezcladora por 4 min más, obteniendo así nuestro concreto experimental.

Determinación de las propiedades físicas del concreto fresco

Se realizaron los siguientes ensayos al concreto en estado fresco: Ensayo de peso unitario, ensayo de asentamiento y ensayo de tiempo de fraguado. Los resultados se anotaron en sus respectivos formatos de ensayo para su posterior análisis.

Determinación de las propiedades físicas del concreto endurecido

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral con la finalidad de obtener datos de sus propiedades físicas, las cuales se anotaron en sus respectivos formatos de ensayo para su posterior análisis y comparación.

CAPÍTULO IV: EXPERIMENTACIÓN**4.1 PROCEDIMIENTO PRELIMINAR****4.1.1 Ensayos preliminares de agregado fino**

Las propiedades físicas del agregado fino deben cumplir con lo establecido en las normas técnicas peruanas.

El agregado fino utilizado en la presente tesis proviene de la cantera de Trapiche, a este se le realizaron los siguientes ensayos en las instalaciones del LEM-UNI.

4.1.1.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012)

Establecido y regulado por la norma NTP 400.012, y los límites granulométricos son recomendados por la norma NTP 400.037.

Tabla N° 8: Granulometría del agregado fino

Tamiz	Peso Ret. (g.)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Límites granulométricos (NTP 400.037)	
3/8"	0.0	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	7.7	1.10	1.10	98.90	95	100
N° 8	91.9	13.17	14.28	85.72	80	100
N° 16	170.0	24.37	38.65	61.35	50	85
N° 30	189.8	27.21	65.85	34.15	25	60
N° 50	128.6	18.43	84.29	15.71	5	30
N° 100	68.1	9.76	94.05	5.95	0	10
FONDO	41.5	5.95	100.00	0.00		
TOTAL	697.6	M.F.	2.98			

Fuente: Elaboración propia

$$M.F. = \frac{\sum \% Ret. Acum. (0.00 + 1.10 + 14.28 + 38.65 + 65.85 + 84.29 + 94.05)}{100}$$

$$M.F. = 2.98$$

Como se aprecia en la Tabla N° 8, se cumple con los límites granulométricos que estipula la norma NTP 400.037 y el según la ASTM el módulo de fineza de la arena debe no ser menor de 2.3 ni mayor que 3.1.

En el Figura N° 15 se aprecia el equipo utilizado para el ensayo de granulometría del agregado fino.



Figura N° 15: Equipo para ensayo de granulometría del agregado fino
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Peso unitario (NTP 400.017)

Los pesos unitarios se obtienen a partir de los siguientes cálculos:

$$P. U. = \frac{(G - T)}{V} = \frac{W_{\text{agregado}}}{V}$$

Donde:

P.U.: Peso unitario del agregado en kg/m³ (lb/pie³)

G: Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)

T: Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V: Volumen del recipiente de medida en m³ (pie³)

W_{agregado}: Peso seco del agregado

- *Peso unitario suelto*

$$V = 1/10 \text{ pie}^3$$

$$W_{\text{agregado suelto}} = 4.13 \text{ kg}$$

$$P. U._{\text{suelto}} = \frac{4.13 \text{ kg}}{\frac{1}{10} \text{ pie}^3} \times \frac{35.315 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3} = 1458.50 \text{ kg/m}^3$$

- *Peso unitario compactado*

$$V = 1/10 \text{ pie}^3$$

$$W_{\text{agregado compactado}} = 4.50 \text{ kg}$$

$$P.U._{\text{compactado}} = \frac{4.50 \text{ kg}}{\frac{1}{10} \text{ pie}^3} \times \frac{35.315 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3} = 1589.18 \text{ kg/m}^3$$

En el Figura N° 16 se aprecia el recipiente utilizado para el ensayo de peso unitario del agregado fino.

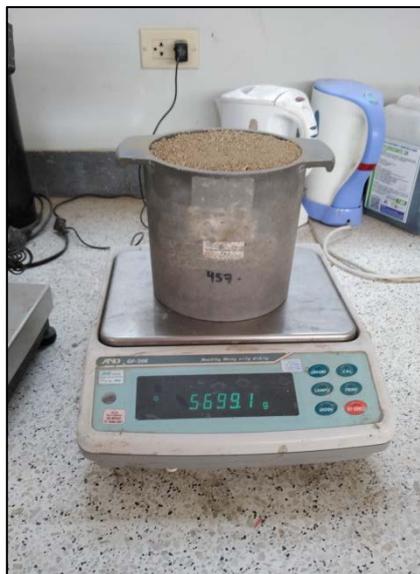


Figura N° 16: Ensayo de peso unitario
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 *Peso específico (NTP 400.022) y absorción*

El peso específico se expresa en tres formas:

- *Peso específico de masa (Pe_m)*

$$Pe_m = \frac{W_0}{V - V_a} \times 100$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, gr.

V = Volumen del frasco en cm^3

V_a = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco

- *Peso específico de masa saturada superficialmente seco (Pe_{sss})*

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

- *Peso específico aparente (Pe_a)*

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

También tenemos que determinar la capacidad de absorción:

- *Absorción (A_b)*

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Con los datos obtenidos en el laboratorio, se procede a realizar los cálculos.

$$W_0 = 490.3$$

$$V = 500$$

$$V_a = 307.1$$

$$Pe_m = 2.54$$

$$Pe_{sss} = 2.59$$

$$Pe_a = 2.68$$

$$A_b (\%) = 1.98$$

En el Figura N° 17 se aprecia el material utilizado en el ensayo de peso específico y absorción.



Figura N° 17: Ensayo de peso específico y absorción
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.4 Contenido de humedad (NTP 339.185)

El contenido de humedad se obtiene a partir del siguiente cálculo:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{P_{\text{humedo}} - P_{\text{seco}}}{P_{\text{seco}}} \times 100$$

Donde:

P_{humedo} : peso de la muestra húmeda original en gramos

P_{seco} : peso de la muestra seca en gramos

Con los datos obtenidos de laboratorio, procedemos a determinar el contenido de humedad del agregado fino.

$$P_{\text{humedo}} = 528.2 \text{ gr}$$

$$P_{\text{seco}} = 518.6 \text{ gr}$$

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{528.2 - 518.6}{518.6} \times 100 = 1.85$$

4.1.2 Ensayos preliminares de agregado grueso

Las propiedades físicas del agregado grueso deben cumplir con lo establecido en las normas técnicas peruanas.

El agregado grueso utilizado en la presente tesis proviene de la cantera de UNICON, a este se le realizaron los siguientes ensayos en las instalaciones del LEM-UNI.

4.1.2.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012)

Establecido y regulado por la norma NTP 400.012, y los límites granulométricos son recomendados por la norma NTP 400.037.

Como se aprecia en la Tabla N° 9, se cumple con los límites granulométricos que estipula la norma NTP 400.037.

En el Figura N° 18 se aprecia el equipo utilizado para el ensayo de granulometría del agregado grueso.

Tabla N° 9: Granulometría del agregado grueso

Tamiz	Peso Ret. (g.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite granulométrico - Huso 5 (NTP 400.037)	
1 1/2"	0.0	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	420.6	3.50	3.50	96.50	90	100
3/4"	5827.1	48.47	51.96	48.04	20	55
1/2"	5520.1	45.91	97.88	2.12	0	10
3/8"	178.3	1.48	99.36	0.64	0	5
1/4"	37.5	0.31	99.67	0.33		
FONDO	39.4	0.33	100.00	0.00		
TOTAL	12023.0	M.F.	7.51			

Fuente: Elaboración propia

$$M.F. = \frac{\sum \%Ret. Acum. (51.96 + 99.36 + 6x100)}{100}$$

$$M.F. = 7.51$$

TM = 1 1/2"

TMN = 1"



Figura N° 18: Equipo para ensayo de granulometría del agregado grueso
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2 Peso unitario (NTP 400.017)

Los pesos unitarios se obtienen a partir de los siguientes cálculos:

$$P.U. = \frac{(G - T)}{V} = \frac{W_{agregado}}{V}$$

Donde:

P.U.: Peso unitario del agregado en kg/m³ (lb/pie³)

G: Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)

T: Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V: Volumen del recipiente de medida en m³ (pie³)

W_{agregado}: Peso seco del agregado

- *Peso unitario suelto*

$$V = 1/3 \text{ pie}^3$$

$$W_{agregado} \text{ suelto} = 13.24 \text{ kg}$$

$$P.U._{suelto} = \frac{13.24 \text{ kg}}{\frac{1}{3} \text{ pie}^3} \times \frac{35.315 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3} = 1402.70 \text{ kg/m}^3$$

- *Peso unitario compactado*

$$V = 1/3 \text{ pie}^3$$

$$W_{agregado} \text{ compactado} = 14.71 \text{ kg}$$

$$P.U._{compactado} = \frac{14.71 \text{ kg}}{\frac{1}{3} \text{ pie}^3} \times \frac{35.315 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3} = 1558.45 \text{ kg/m}^3$$

4.1.2.3 Peso específico (NTP 400.021) y absorción

El peso específico se expresa en tres formas:

- *Peso específico de masa (Pe_m)*

$$Pe_m = \frac{A}{B - C} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos

C = Peso en el agua de la muestra saturada

- *Peso específico de masa saturada superficialmente seco (Pe_{sss})*

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

- *Peso específico aparente (Pe_a)*

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

También tenemos que determinar la capacidad de absorción:

- *Absorción (Ab)*

$$Ab(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Con los datos obtenidos en el laboratorio, se procede a realizar los cálculos.

A = 4008.7 gr.

B = 4036.0 gr.

C = 2506.1 gr.

$$Pe_m = 2.62$$

$$Pe_{sss} = 2.64$$

$$Pe_a = 2.67$$

$$Ab(\%) = 0.66$$

4.1.2.4 Contenido de humedad (NTP 339.185)

El contenido de humedad se obtiene a partir del siguiente cálculo:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{P_{humedo} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100$$

Donde:

P_{humedo} : peso de la muestra húmeda original en gramos

P_{seco} : peso de la muestra seca en gramos

Con los datos obtenidos de laboratorio, procedemos a determinar el contenido de humedad del agregado grueso.

$$P_{\text{humedo}} = 803 \text{ gr.}$$

$$P_{\text{seco}} = 802.2 \text{ gr.}$$

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{803 - 802.2}{802.2} \times 100 = 0.10$$

4.1.3 Preparación de polvo de cáscara de huevo (PCH)

Las cáscaras de huevo se obtuvieron crudas y partidas, desechadas en fundas plásticas.

4.1.3.1 Lavado y secado de cáscara de huevo

Las cáscaras de huevo obtenidas se lavaron para limpiarlas y remover los restos de yema o clara que contenga, después se procedió con el secado al aire libre, para que la descomposición de estos restos no atraiga insectos como las moscas y así evitar la generación de malos olores. Ver Figura N° 19 y N° 20.

El secado al aire libre tomó alrededor de 1 semana, lo cual se fue removiendo y mezclando para lograr que toda la cáscara quede completamente seca.



Figura N° 19: Cáscara de huevo lavada
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 20: Secado de cáscara de huevo al aire libre
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2 Triturado de la cáscara de huevo y posterior cernido

Una vez este seca la cáscara de huevo se procede con el primer triturado, el cual consiste en un aplastamiento haciendo uso de un rodillo manual, posteriormente se procede con el cernido utilizando un colador de plástico, con la finalidad de lograr separar la cáscara de huevo y la membrana orgánica que esta tiene. Ver Figura N° 21, N° 22 y N° 23.



Figura N° 21: Trituración de la cáscara de huevo
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 22: Rodillo de madera usado para la trituración de la cáscara de huevo
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 23: Cernido de la cáscara de huevo triturada
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3 Molienda con molino manual

Teniendo a la cáscara de huevo ya triturada parcialmente, ahora se procede con el segundo triturado haciendo uso de un molino manual hasta llegar a la máxima finura de las mismas. Ver Figura N° 24.



Figura N° 24: Cáscara de huevo antes de ser molido y el molino manual
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.4 Tamizado del polvo de cáscara de huevo (PCH)

Una vez ya molido la cáscara de huevo procedemos a tamizarlo por la malla N°50 con la finalidad de obtener las partículas más finas del polvo de cáscara de huevo. Ver Figura N° 25.



Figura N° 25: Tamiz utilizado para obtener el polvo de cáscara de huevo
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.5 Material que pasa la malla N° 200 (NTP 400.018)

Resultados del ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200.

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de N° 200 por lavado

B = Peso seco de la muestra original, en gramos

C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos

Tenemos:

$$B = 352.5$$

$$C = 255.2$$

$$A = \frac{352.5 - 255.2}{352.5} \times 100 = 27.60$$

En el Figura N° 26 se aprecia el equipo utilizado para el ensayo de malla N° 200.



Figura N° 26: Ensayo de malla N° 200
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.6 Medición de compuestos químicos

Con el propósito de conocer la composición química del polvo de cáscara de huevo que se está usando se procedió a realizar un ensayo de caracterización en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER FC - UNI) ya que ellos cuentan con el equipo necesario para este fin (Ver Anexo C) . El resultado de los ensayos de laboratorio se muestran en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: Resultados de laboratorio

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ⁽¹⁾	MÉTODO UTILIZADO
Calcio, Ca	98.604	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Estroncio, Sr	0.699	
Potasio, K	0.375	
Azufre, S	0.255	
Fósforo, P	0.068	

⁽¹⁾ Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X.

Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ^(1,2)	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	97.103	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽³⁾
Óxido de potasio, K ₂ O	2.067	
Óxido de estroncio, SrO	0.563	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.205	
Óxido de azufre, SO ₃	0.061	

⁽¹⁾ Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Resultados expresados en óxidos según pedido del solicitante.

⁽³⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.

Fuente: Resultados de laboratorio LABICER - UNI

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL CON CEMENTO TIPO I

Existen diversos métodos de diseño de mezcla de concreto, la aplicación de estos métodos; se ha desarrollado en base a experiencias realizadas por los investigadores, diversas tablas y factores. En la práctica, la aplicación de estas recomendaciones muchas veces no conduce a obtener resultados previstos por las tablas y/o factores. Por lo tanto, estos métodos y tablas constituyen solamente una guía base; por lo que debemos realizar mezclas de prueba con los materiales que utilizemos, para que después de los correspondientes ajustes logremos determinar el diseño de mezcla final.

En la presente investigación, el cemento de tipo I utilizado es el cemento Sol, y el diseño de la mezcla sigue el método del Agregado Global, que consiste en optimizar sistemáticamente la proporción de agregado fino y grueso como un solo material (agregado global), dirigido a controlar la trabajabilidad de la mezcla de concreto, y obtener la mayor capacidad de acomodamiento de los agregados mediante ensayos de materiales.

4.2.1 Ensayo de máxima compactación de la combinación de agregados

Consiste en obtener la óptima proporción de agregados con el máximo peso unitario compactado, pues con esta combinación logramos obtener la menor cantidad de vacíos en el concreto.

Los resultados para la determinación del máximo peso unitario compactado del agregado global se muestran en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Peso unitario compactado del agregado global

Peso unitario compactado (kg/m ³)	Proporción de agregados	
	Agregado fino (%)	Agregado grueso (%)
1888	70	30
1936	65	35
1964	60	40
1957	55	45
1960	50	50
1964	45	55
1801	30	70

Fuente: Elaboración propia

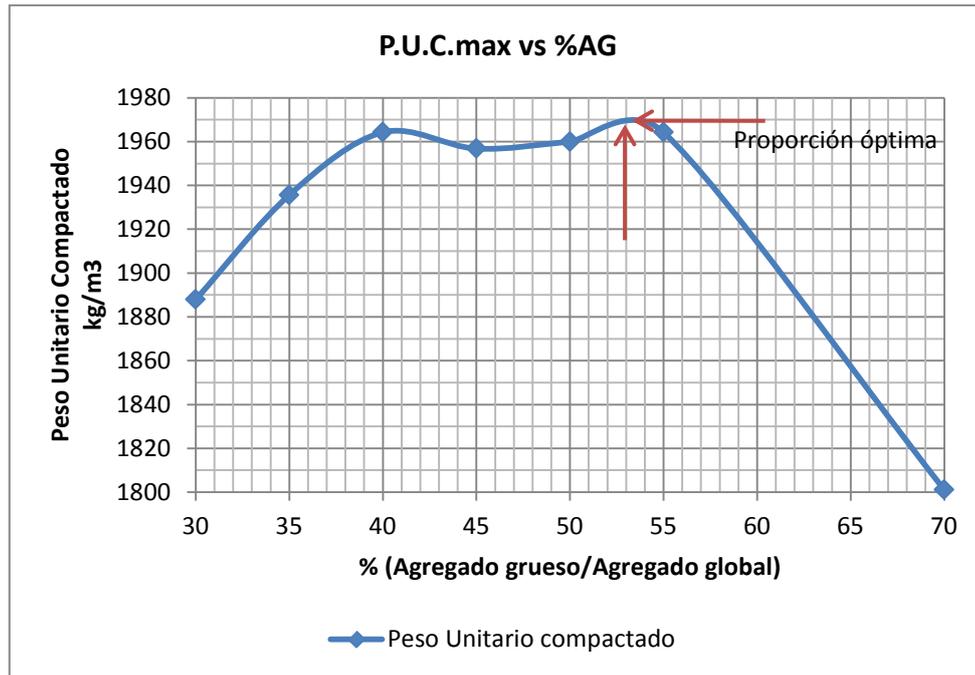


Figura N° 27: Peso unitario compactado del agregado global
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al máximo peso unitario compactado del agregado global (ver Figura N° 27) la proporción óptima de agregado grueso es de 53% y la proporción óptima del agregado fino será de 47%.

4.2.2 Diseño de mezcla patrón con cemento tipo I

4.2.2.1 Diseño de mezcla preliminar

En la Tabla N° 12 se muestran las propiedades de los materiales utilizados, los mismos que se determinaron en ensayos previamente realizados:

Tabla N° 12: Propiedades de los agregados empleados en el diseño 1

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1458.50	1402.70
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1589.18	1558.45
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.54	2.62
Peso específico de masa s.s.s. (gr/cm ³)	2.59	2.64
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.68	2.67
Porcentaje de absorción (%)	1.98	0.66

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Contenido de humedad (%)	1.85	0.10
Módulo de finura	2.98	7.51
Tamaño máximo nominal	-----	1"

CEMENTO PORTLAND TIPO I - SOL	
Peso específico (kg/m ³)	3150

Fuente: Elaboración propia

Se inicia con los diseño de mezcla de prueba, los cuales ayudarán a determinar el diseño de mezcla óptimo.

- a) Cálculo de la resistencia promedio

Se busca una resistencia de 210 kg/cm², por lo que según tablas del ACI para un $f'c=210$ kg/cm² le corresponde un $f'cr=295$ kg/cm².

- b) Selección del asentamiento

Se eligió un asentamiento de 3' – 4', en ese rango se obtendría una mezcla de consistencia plástica.

- c) Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Se tiene un T.M.N. =1"

- d) Estimación del agua de mezclado

Según tablas ACI se estima 195 L/m³

- e) Estimación del contenido de aire

Según tablas ACI se estima un aire atrapado de 1.5%

- f) Selección de la relación agua/cemento (a/c)

Según tablas ACI para un diseño de $f'cr=295$ kg/cm² le corresponde un a/c = 0.55

g) Cálculo del contenido de cemento

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{agua}}{a/c} = 354.55 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{354.55}{3150} = 0.113$$

h) Determinación del volumen de agregados por metro cúbico de concreto

$$\text{Vol. de agregado por m}^3 = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. aire})$$

$$\text{Vol. de agregado por m}^3 = 1 - (0.195 + 0.113 + 0.015)$$

$$\text{Vol. de agregado por m}^3 = 0.677 \text{ m}^3$$

Por ensayo de máxima compactación se obtienen los porcentajes en peso de agregado fino y grueso.

$$\text{Porcentaje Arena (\%)} = 47$$

$$\text{Porcentaje Piedra (\%)} = 53$$

$$\text{Volumen Arena (m}^3\text{)} = 47\% \times 0.677 = 0.318$$

$$\text{Volumen Piedra (m}^3\text{)} = 53\% \times 0.677 = 0.359$$

i) Determinación de pesos en estado seco de los agregados

$$\text{Peso seco arena} = \text{Vol. arena} \times \text{Peso específico arena}$$

$$\text{Peso seco piedra} = \text{Vol. piedra} \times \text{Peso específico piedra}$$

$$\text{Peso seco arena (kg)} = 808.73$$

$$\text{Peso seco piedra (kg)} = 940.70$$

j) Corrección debido a la humedad en los agregados

$$\text{Peso húmedo de la arena} = \text{Peso seco arena} \times (1 + (\text{C.H. arena})/100)$$

$$\text{Peso húmedo de la piedra} = \text{Peso seco piedra} \times (1 + (\text{C.H. piedra})/100)$$

$$\text{Peso arena (kg)} = 823.70$$

$$\text{Peso piedra (kg)} = 941.64$$

k) Corrección del agua de diseño

$$\text{Agua que requiere la arena} = 1.05$$

Agua que requiere la piedra = 5.27

Agua corregida = 195 + 1.05 + 5.27 = 201.32 L

l) Cálculo de las proporciones en peso húmedo para 1 m³

Cemento (kg)	354.55
Arena (kg)	823.70
Piedra (kg)	941.64
Agua (L/m ³)	201.32
Relación a/c	0.55

Luego se procede a determinar el asentamiento de la mezcla. En la Tabla N° 13 se muestra el resumen de los datos de diseño y resultado de slump de este primer diseño:

Tabla N° 13: Diseño preliminar 1

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
a/c = 0.55	CEMENTO	354.55	354.55	0.113
Agua (L) = 195	ARENA	808.73	823.70	0.318
arena (%) = 47	PIEDRA	940.70	941.64	0.359
piedra (%) = 53	AGUA	195.00	201.32	0.195
	AIRE			0.015
Asentamiento	1.00 cm = 0.39"			

Fuente: Elaboración propia

Se buscó lograr un asentamiento que esté en el rango de 3"- 4", pero se obtuvo un asentamiento de 1 cm (0.39"). Ya que no se logró el asentamiento esperado, se debe modificar la cantidad de agua, pero manteniendo constante la relación a/c y la relación arena/piedra obtenida del ensayo de máxima compactación.

Se procede a aumentar la cantidad de agua por metro cúbico. En la Tabla N° 14 se muestra los resultados:

Tabla N° 14: Diseño preliminar 2

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
a/c = 0.55	CEMENTO	381.82	381.82	0.121
Agua (L) = 210	ARENA	780.49	794.93	0.307
arena (%) = 47	PIEDRA	907.85	908.76	0.347

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
piedra (%) = 53	AGUA	210.00	216.10	0.210
	AIRE			0.015
Asentamiento	5.50 cm = 2.17"			

Fuente: Elaboración propia

Del ensayo preliminar 2 se obtuvo un asentamiento que no cumple con el rango requerido, por lo que se procede a incrementar la cantidad de agua en el diseño.

En la Tabla N° 15 se muestra los resultados:

Tabla N° 15: Diseño preliminar 3

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
a/c = 0.55	CEMENTO	427.27	427.27	0.136
Agua (L) = 235	ARENA	733.42	746.99	0.289
arena (%) = 47	PIEDRA	853.10	853.95	0.326
piedra (%) = 53	AGUA	235.00	240.73	0.235
AIRE				0.015
Asentamiento	14.75 cm = 5.81"			

Fuente: Elaboración propia

Del diseño preliminar 3 se obtuvo un asentamiento que no cumple con el rango requerido, por lo que se procede a disminuir la cantidad de agua en el diseño. En la Tabla N° 16 se muestra los resultados:

Tabla N° 16: Diseño preliminar 4

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
a/c = 0.55	CEMENTO	400.00	400.00	0.127
Agua (L) = 220	ARENA	761.66	775.75	0.300
arena (%) = 47	PIEDRA	885.95	886.83	0.338
piedra (%) = 53	AGUA	220.00	225.95	0.220
AIRE				0.015
Asentamiento	8.00 cm = 3.15"			

Fuente: Elaboración propia

Para un agua de diseño de 220 L se obtuvo un asentamiento que cumple con el rango requerido, se da por terminada la etapa de diseño.

4.2.2.2 Diseño de mezcla patrón

Se presenta en la Tabla N° 17, el diseño patrón por tandas:

Tabla N° 17: Diseño obtenido para a/c = 0.55 con cemento tipo I

MATERIAL	Diseño seco		Diseño en obra			
	Peso (kg)	Vol. Abs.	Peso (kg)	Prop. En peso	Prop. Por bolsa	Tanda (kg)
CEMENTO	400.00	0.127	400.00	1.000	1 bolsa	11.48
ARENA	761.66	0.300	775.75	1.939	82.42	22.27
PIEDRA	885.95	0.338	886.83	2.217	94.23	25.46
AGUA	220.00	0.220	225.95	0.565	24.01	6.49
AIRE ATRAPADO (%)		0.015				

Fuente: Elaboración propia

Se estableció esta tanda de mezcla, ya que rinde aproximadamente para 15 probetas de 100 x 200 mm.

4.2.3 Diseño de mezcla con cemento tipo I y PCH

Una vez obtenido el diseño patrón, se procede a realizar el diseño de mezcla para los respectivos porcentajes de reemplazo de cemento por polvo de cáscara de huevo.

En la Tabla N° 18 se muestra las respectivas dosificaciones de mezcla para los porcentajes de reemplazo que se está investigando en esta tesis.

Tabla N° 18: Resumen de dosificaciones de diseño 1

Descripción de materiales		Diseño de mezcla con polvo de cáscara de huevo según porcentaje de reemplazo				
Porcentaje de reemplazo	Und.	0%	5%	10%	15%	20%
Cemento	kg	11.48	10.91	10.34	9.76	9.19
Arena	kg	22.27	22.27	22.27	22.27	22.27
Piedra	kg	25.46	25.46	25.46	25.46	25.46
Agua	L	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49
Polvo de cáscara de huevo	kg	0.00	0.57	1.15	1.72	2.30

Fuente: Elaboración propia

4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL CON CEMENTO TIPO IP

De manera similar al diseño anterior se utiliza el método del agregado global para el diseño de mezcla y como cemento de tipo IP tenemos al Cemento Multi-Propósito Yura IP.

4.3.1 Ensayo de máxima compacidad de la combinación de agregados

Se está utilizando los mismos agregados que en el diseño anterior, por lo que la proporción de agregados se mantendrá. La proporción óptima de agregado grueso es de 53% y la proporción óptima del agregado fino será de 47%.

4.3.2 Diseño de mezcla patrón con cemento tipo IP

4.3.2.1 Diseño de mezcla preliminar

En la Tabla N° 19 se muestran las propiedades de los materiales a emplear en el diseño de mezcla.

Tabla N° 19: Propiedades de los agregados empleados en el diseño 2

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1458.50	1402.70
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1589.18	1558.45
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.54	2.62
Peso específico de masa s.s.s. (gr/cm ³)	2.59	2.64
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.68	2.67
Porcentaje de absorción (%)	1.98	0.66
Contenido de humedad (%)	4.60	0.39
Módulo de finura	2.98	7.51
Tamaño máximo nominal	-----	1"

CEMENTO PORTLAND TIPO IP – MULTIPROPOSITO YURA	
Peso específico (kg/m ³)	2850

Fuente: Elaboración propia

Teniendo las propiedades de los materiales se procede a realizar un diseño preliminar partiendo con un agua de diseño de 220 L. En la Tabla N° 20 se muestra el resumen de los datos de diseño y resultado de slump de este diseño:

Tabla N° 20: Diseño preliminar 5

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
a/c = 0.55	CEMENTO	400.00	400.00	0.140
Agua (L) = 220	ARENA	745.71	780.01	0.294
arena (%) = 47	PIEDRA	867.39	870.77	0.331
piedra (%) = 53	AGUA	220.00	202.80	0.220
	AIRE			0.015
Asentamiento	4.00 cm = 1.58"			

Fuente: Elaboración propia

Se buscó lograr un asentamiento que esté en el rango de 3"- 4", pero se obtuvo un asentamiento de 4 cm (1.58"). Se procede a aumentar la cantidad de agua de diseño.

En la Tabla N° 21 se muestra el resumen de los datos de diseño y resultado de slump de este diseño:

Tabla N° 21: Diseño preliminar 6

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M ³ DE CONCRETO		
		PESOS (kg/m ³)		VOLUMEN ABS.
		SECO	HUMEDO	
a/c = 0.55	CEMENTO	418.18	418.18	0.147
Agua (L) = 230	ARENA	726.15	759.56	0.286
arena (%) = 47	PIEDRA	844.64	847.94	0.322
piedra (%) = 53	AGUA	230.00	213.26	0.230
	AIRE			0.015
Asentamiento	9.00 cm = 3.54"			

Fuente: Elaboración propia

Para un agua de diseño de 230 L se obtuvo un asentamiento que cumple con el rango requerido, se da por terminada la etapa de diseño.

4.3.2.2 Diseño de mezcla patrón

Se presenta en la Tabla N° 22, el diseño patrón por tandas:

Tabla N° 22: Diseño obtenido para $a/c = 0.55$ con cemento tipo IP

MATERIAL	Diseño seco		Diseño en obra			
	Peso (kg)	Vol. Abs.	Peso (kg)	Prop. En peso	Prop. Por bolsa	Tanda (kg)
CEMENTO	418.18	0.147	418.18	1.000	1 bolsa	12.01
ARENA	726.15	0.286	759.56	1.816	77.19	21.81
PIEDRA	844.64	0.322	847.94	2.028	86.18	24.34
AGUA	230.00	0.230	213.26	0.510	21.67	6.12
AIRE ATRAPADO (%)		0.015				

Fuente: Elaboración propia

Se estableció esta tanda de mezcla, ya que rinde aproximadamente para 15 probetas de 100 x 200 mm.

4.3.3 Diseño de mezcla con cemento tipo IP y PCH

Se procede a realizar el diseño de mezcla para los respectivos porcentajes de reemplazo de cemento por polvo de cáscara de huevo.

En la Tabla N° 23 se muestra las respectivas dosificaciones de mezcla para los porcentajes de reemplazo que se está investigando en esta tesis.

Tabla N° 23: Resumen de dosificaciones de diseño 2

Descripción de materiales		Diseño de mezcla con polvo de cáscara de huevo según porcentaje de reemplazo				
Porcentaje de reemplazo	Und.	0%	5%	10%	15%	20%
Cemento	kg	12.01	11.41	10.81	10.21	9.61
Arena	kg	21.81	21.81	21.81	21.81	21.81
Piedra	kg	24.34	24.34	24.34	24.34	24.34
Agua	L	6.12	6.12	6.12	6.12	6.12
Polvo de cáscara de huevo	kg	0.00	0.60	1.20	1.80	2.40

Fuente: Elaboración propia

4.4 ENSAYOS Y RESULTADOS UTILIZANDO CEMENTO TIPO I

4.4.1 Propiedades del concreto en estado fresco

4.4.1.1 Ensayo para medición de asentamiento (NTP 339.035)

Se determina por el ensayo de Cono de Abrams, que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento. En la Tabla N° 24 se muestra la consistencia y trabajabilidad del concreto según el asentamiento.

Tabla N° 24: Asentamiento del concreto con CP T-I

Diseño con Cemento Portland Tipo I			
Porcentaje de C.H.	Agua (L/m ³)	Slump (cm)	Slump (pulg)
0%	220	9.5	3.7
5%	220	12.5	4.9
10%	220	15.0	5.9
15%	220	16.8	6.6
20%	220	11.5	4.5

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2 Peso unitario (NTP 339.046)

El ensayo se realizó a las 5 variaciones de reemplazo de polvo de cáscara y los resultados se muestran en la Tabla N° 25:

Tabla N° 25: Peso unitario del concreto con CP T-I

Diseño con C.P. T-I			
Porcentaje de C.H.	Peso concreto (kg)	Volumen (m ³)	P.U. (kg/m ³)
0%	16.79	0.007	2399
5%	16.55	0.007	2364
10%	16.70	0.007	2243
15%	15.13	0.007	2161
20%	16.26	0.007	2323

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.3 Ensayo de consistencia (NTP 339.085)

Nos da el grado de fluidez de una mezcla.

Los resultados se muestran en la Tabla N° 26:

Tabla N° 26: Consistencia del concreto con CP T-I

Diseño con C.P. T-I			
Porcentaje de C.H.	d inicial (cm)	d prom (cm)	I.C. (%)
0%	25	30.37	21.47
5%	25	37.83	51.33
10%	25	29.75	19.00
15%	25	37.33	49.33
20%	25	32.97	31.87

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4 Tiempo de fraguado (NTP 339.082)

Se determinó el tiempo de fraguado de mezcla por medio de la resistencia a la penetración. Los resultados se muestran en la Tabla N° 27 (Ver Anexo A – Página 132):

Tabla N° 27: Tiempo de fraguado del concreto con CP T-I

Diseño con C.P. T-I		
Porcentaje de C.H.	Tiempo de fragua	
	Inicial (min)	Final (min)
0%	258	344
5%	292	404
10%	323	452
15%	341	475
20%	385	501

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla N° 28 se presenta de manera general los ensayos realizados en concreto fresco utilizando cemento tipo I.

Tabla N° 28: Cuadro resumen de ensayos de concreto fresco con CP T-I

Diseño con C.P. T-I					
Porcentaje de C.H.	Asentamiento (pulg)	Consistencia (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Tiempo de fraguado	
				Inicial (min)	Final (min)
0%	3.7	21.47	2399	258	344
5%	4.9	51.33	2364	292	404
10%	5.9	19.00	2243	323	452

Diseño con C.P. T-I					
Porcentaje de C.H.	Asentamiento (pulg)	Consistencia (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Tiempo de fraguado	
				Inicial (min)	Final (min)
15%	6.6	49.33	2161	341	475
20%	4.5	31.87	2323	385	501

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

Los ensayos a los fueron sometidas las probetas de concreto endurecido fueron: resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por compresión diametral.

En la presente investigación se elaboró probetas de 10 x 20 cm, las cuales fueron ensayadas.

4.4.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

La resistencia a la compresión para una probeta de forma cilíndrica se calcula de la siguiente manera:

$$R_c = \frac{4}{\pi} \times \frac{G}{D^2}$$

Donde:

R_c: Resistencia a la rotura (kg/cm²)

G: Carga de rotura (kg)

D: Diámetro de la probeta (cm)

Los resultados de cada ensayo se detallan en el Anexo B (Página 147), en la Tabla N° 29 se muestra el cuadro resumen de los ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla N° 29: Resumen de ensayos de resistencia a la compresión

Diseño de mezcla con C.P. T-I	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Edad (días)		
Dosificación de C.H.	3	7	28
0%	164.15	208.95	304.75
5%	174.49	214.45	268.85
10%	161.39	194.78	249.87
15%	145.36	181.91	198.22
20%	121.49	149.19	170.93

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

La resistencia a la tracción para una probeta cilíndrica se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \frac{2}{\pi} \times \frac{P}{D \times L}$$

Donde:

Q: Resistencia a la tracción (kg/cm²)

P: Carga de rotura (kg)

D: Diámetro de la probeta (cm)

L: Longitud de la probeta (cm)

Los resultados de cada ensayo se detallan en el Anexo B (Página 159), en la Tabla N° 30 se muestra el cuadro resumen de los ensayos de resistencia a la tracción.

Tabla N° 30: Resumen de ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral

Diseño de mezcla con C.P. T-I	Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²)	
	Edad (días)	
Dosificación de C.H.	7	28
0%	26.20	27.69
5%	20.93	28.63
10%	25.52	26.88
15%	22.78	25.32
20%	20.85	22.88

Fuente: Elaboración propia

4.5 ENSAYOS Y RESULTADOS UTILIZANDO CEMENTO TIPO IP

4.5.1 Propiedades del concreto en estado fresco

4.5.1.1 Ensayo para medición de asentamiento (NTP 339.035)

Se determina por el ensayo de Cono de Abrams.

En la Tabla N° 31 se muestra la consistencia y trabajabilidad del concreto según el asentamiento.

Tabla N° 31: Asentamiento del concreto con CP T-IP

Diseño con Cemento Portland Tipo IP			
Porcentaje de C.H.	Agua (L/m ³)	Slump (cm)	Slump (pulg)
0%	230	9.0	3.5
5%	230	8.3	3.3
10%	230	11.4	4.5
15%	230	12.3	4.8
20%	230	10.8	4.3

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.2 Peso unitario (NTP 339.046)

El ensayo se realizó a las 5 variaciones de reemplazo de polvo de cáscara y los resultados se muestran en la Tabla N° 32:

Tabla N° 32: Peso unitario del concreto con CP T-IP

Diseño con C.P. T-IP			
Porcentaje de C.H.	Peso concreto (kg)	Volumen (m ³)	P.U. (kg/m ³)
0%	16.66	0.007	2380
5%	16.54	0.007	2363
10%	16.47	0.007	2353
15%	16.41	0.007	2344
20%	16.13	0.007	2304

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.3 Ensayo de consistencia (NTP 339.085)

Los resultados se muestran en la Tabla N° 33:

Tabla N° 33: Consistencia del concreto con CP T-IP

Diseño con C.P. T-IP			
Porcentaje de C.H.	d inicial (cm)	d prom (cm)	I.C. (%)
0%	25	29.67	18.67
5%	25	31.12	24.47
10%	25	32.48	29.93

Diseño con C.P. T-IP			
Porcentaje de C.H.	d inicial (cm)	d prom (cm)	I.C. (%)
15%	25	31.88	27.53
20%	25	29.37	17.47

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.4 Tiempo de fraguado (NTP 339.082)

Se determinó el tiempo de fraguado de mezcla por medio de la resistencia a la penetración.

Los resultados se muestran en la Tabla N° 34 (Ver Anexo A – Página 139):

Tabla N° 34: Tiempo de fraguado del concreto con CP T-IP

Diseño con C.P. T-IP		
Porcentaje de C.H.	Tiempo de fragua	
	Inicial (min)	Final (min)
0%	419	607
5%	490	753
10%	473	664
15%	557	804
20%	749	1214

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla N° 35 se presenta de manera general los ensayos realizados en concreto fresco utilizando cemento tipo IP.

Tabla N° 35: Cuadro resumen de ensayos de concreto fresco con CP T-IP

Diseño con C.P. T-IP					
Porcentaje de C.H.	Asentamiento (pulg.)	Consistencia (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Tiempo de fraguado	
				Inicial (min)	Final (min)
0%	3.5	18.67	2380	419	607
5%	3.3	24.47	2363	490	753
10%	4.5	29.93	2353	473	664
15%	4.8	27.53	2344	557	804
20%	4.3	17.47	2304	749	1214

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

4.5.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

Para el cemento tipo IP los resultados de cada ensayo se detallan en el Anexo B (Página 153), en la Tabla N° 36 se muestra el cuadro resumen de los ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla N° 36: Resumen de ensayos de resistencia a la compresión

Diseño de mezcla con C.P. T-IP	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Edad (días)		
Dosificación de C.H.	3	7	28
0%	82.51	122.96	212.58
5%	116.84	147.34	181.13
10%	78.66	117.98	164.54
15%	76.30	101.47	141.66
20%	64.00	96.14	121.98

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

Para el cemento tipo IP los resultados de cada ensayo se detallan en el Anexo B (Página 163), en la Tabla N° 37 se muestra el cuadro resumen de los ensayos de resistencia a la tracción.

Tabla N° 37: Resumen de ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral

Diseño de mezcla con C.P. T-IP	Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²)	
	Edad (días)	
Dosificación de C.H.	7	28
0%	13.02	19.81
5%	15.53	22.47
10%	10.96	13.00
15%	11.45	20.08
20%	10.08	18.19

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentará las tablas y gráficas comparativas de los diferentes ensayos realizados en la presente investigación.

5.1 CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO TIPO I

5.1.1 Análisis de propiedades del concreto en estado fresco

5.1.1.1 Asentamiento (NTP 339.035)

Tabla N° 38: Asentamiento con CP T-I

Diseño con Cemento Portland Tipo I		
Porcentaje de C.H.	Asentamiento (pulg)	Variación de asentamiento
0% = Patrón	3.7	100%
5%	4.9	132%
10%	5.9	158%
15%	6.6	177%
20%	4.5	121%

Fuente: Elaboración propia

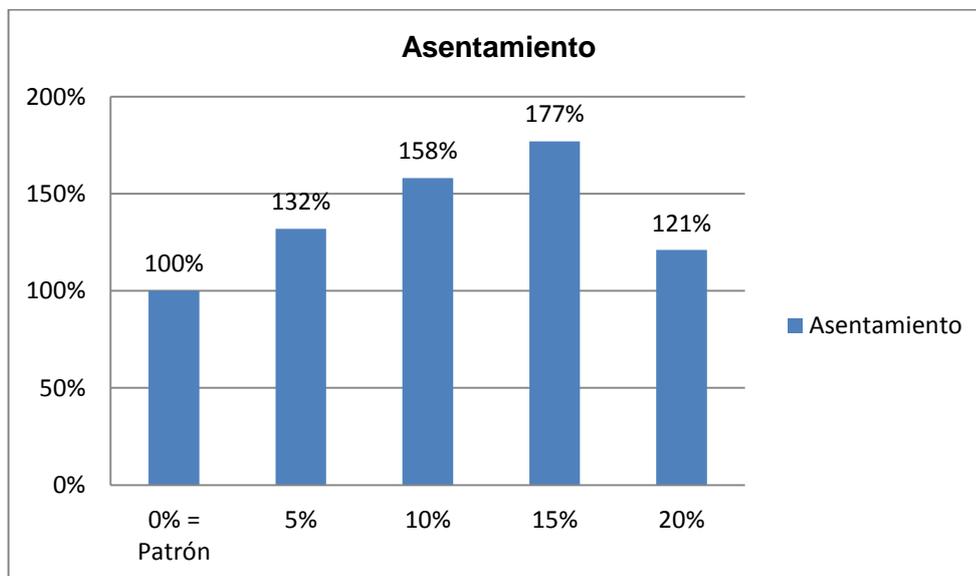


Figura N° 28: Variación del asentamiento con CP T-I
Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 38 y Figura N° 28):

Para los porcentajes de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, los asentamientos fueron de 3.7", 4.9", 5.9", 6.6" y 4.5" respectivamente.

De los resultados se observa que hay una tendencia de aumento del asentamiento, pero solo hasta un porcentaje de 15% de polvo de cáscara de huevo (PCH), ya con un 20% de PCH se observa un descenso.

Con 15% de PCH se obtuvo el mayor incremento del asentamiento, se observa un incremento del 77%.

5.1.1.2 Consistencia (NTP 339.085)

Tabla N° 39: Consistencia con CP T-I

Diseño con Cemento Portland Tipo I		
Porcentaje de C.H.	I.C. (%)	Variación de I.C.
0% = Patrón	21.47	100%
5%	51.33	239%
10%	19.00	89%
15%	49.33	230%
20%	31.87	148%

Fuente: Elaboración propia

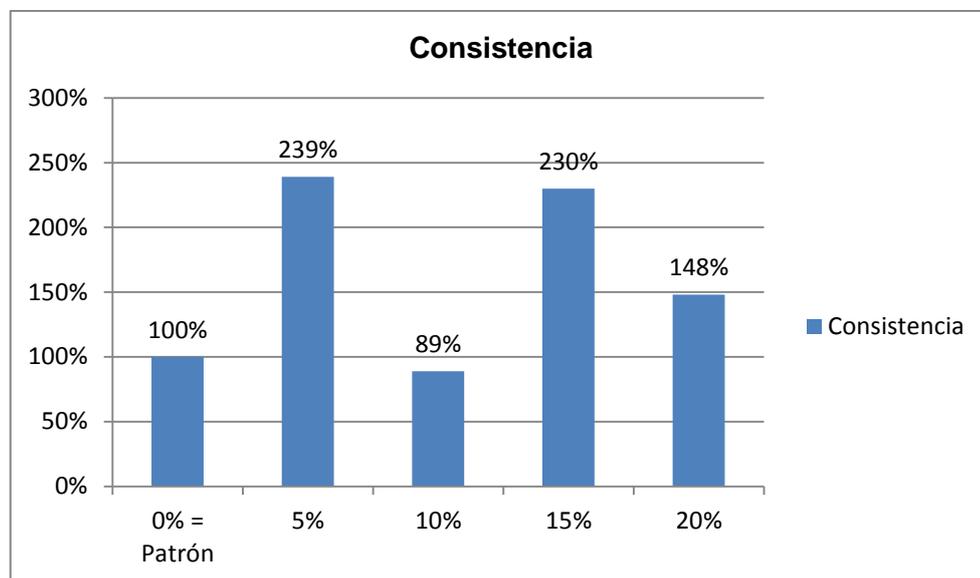


Figura N° 29: Variación de la consistencia con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 39 y Figura N° 29):

Los resultados nos muestran una tendencia variable.

Para los porcentajes de cáscara de huevo de 5% y 15% se obtienen los mayores índices de consistencia.

Para el 10% de PCH se obtiene un índice de consistencia por debajo del concreto patrón.

5.1.1.3 Peso unitario (NTP 339.046)

Tabla N° 40: Peso unitario con CP T-I

Diseño con Cemento Portland Tipo I		
Porcentaje de C.H.	P.U. (kg/m ³)	Variación de P.U.
0% = Patrón	2399	100%
5%	2364	99%
10%	2243	94%
15%	2161	90%
20%	2323	97%

Fuente: Elaboración propia

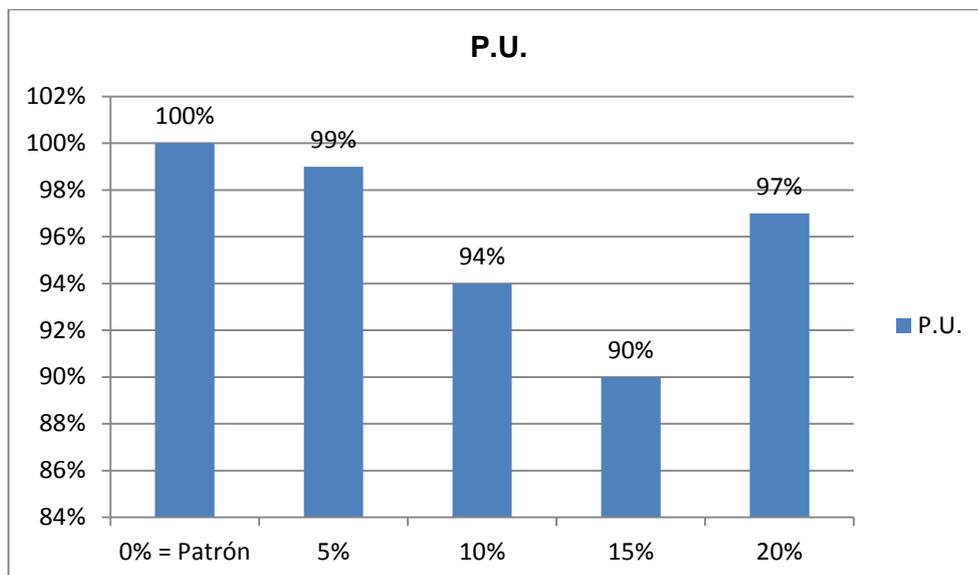


Figura N° 30: Variación del peso unitario con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 40 y Figura N° 30):

Para los porcentajes de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, los pesos unitarios del concreto fueron de 2399, 2364, 2243, 2161 y 2323 kg/m³ respectivamente.

De los resultados se observa una tendencia de descenso del peso unitario, pero solo hasta un 15% de PCH, ya que con un 20% de PCH se observa un aumento.

Para un 15% de PCH se obtiene el menor peso unitario lo que equivale a un concreto más ligero.

5.1.1.4 Tiempo de fraguado (NTP 339.082)

Tabla N° 41: Tiempo de fraguado inicial con CP T-I

Diseño con Cemento Portland Tipo I		
Porcentaje de C.H.	Tiempo de fragua inicial (min)	Variación de fragua inicial
0% = Patrón	258	100%
5%	292	113%
10%	323	125%
15%	341	132%
20%	385	149%

Fuente: Elaboración propia

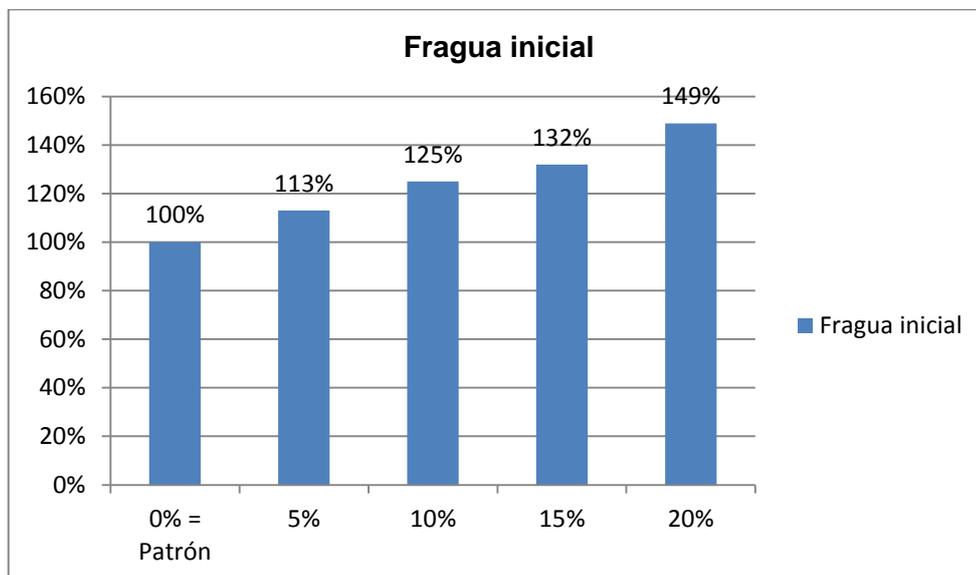


Figura N° 31: Variación del fraguado inicial con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, respecto al fraguado inicial (ver Tabla N° 41 y Figura N° 31):

Para los porcentajes de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, los tiempos de fragua inicial fueron de 258, 292, 323, 341 y 385 minutos respectivamente.

De los resultados se observa que hay una tendencia de aumento del tiempo de fragua inicial, a mayor porcentaje de cáscara de huevo se obtiene un mayor tiempo de fragua inicial.

Tabla N° 42: Tiempo de fraguado final con CP T-I

Diseño con Cemento Portland Tipo I		
Porcentaje de C.H.	Tiempo de fragua final (min)	Variación de fragua final
0% = Patrón	344	100%
5%	404	117%
10%	452	131%
15%	475	138%
20%	501	146%

Fuente: Elaboración propia

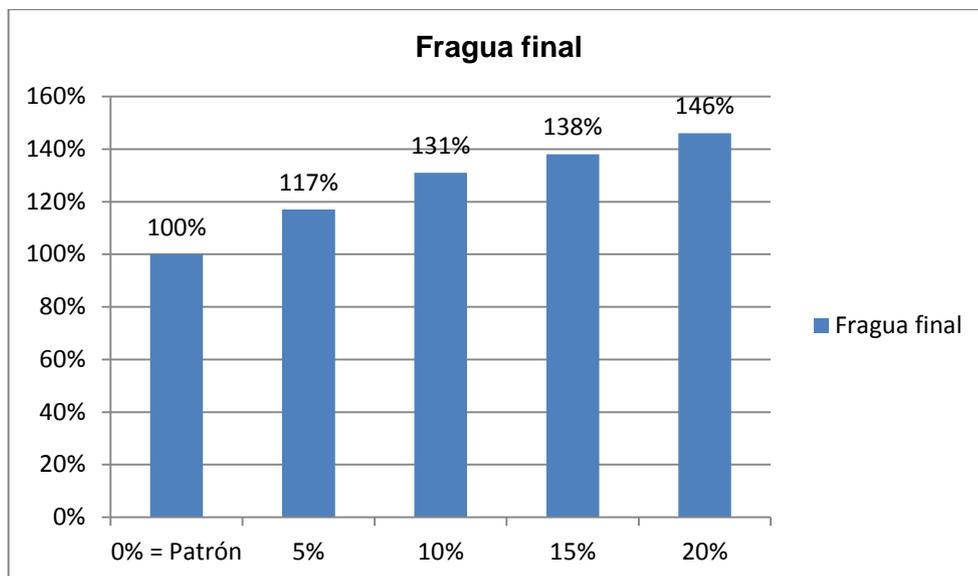


Figura N° 32: Variación del fraguado final con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, respecto al fraguado final (ver Tabla N° 42 y Figura N° 32):

Para los porcentajes de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, los tiempos de fragua final fueron de 344, 404, 452, 475 y 501 minutos respectivamente.

De los resultados se observa que hay una tendencia de aumento del tiempo de fragua final, a mayor porcentaje de cáscara de huevo se obtiene un mayor de tiempo de fragua final.

De los resultados en la fragua inicial y final se deduce que el polvo de cáscara de huevo actúa como un retardante de fragua, ampliando relativamente los tiempos de fragua inicial y final.

5.1.2 Análisis de propiedades del concreto en estado endurecido

5.1.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

La Tabla N° 43 es el resumen de las resistencias alcanzadas por las probetas, elaboradas con cemento tipo I y la presencia de polvo de cáscara de huevo.

Tabla N° 43: Resistencia a la compresión con CP T-I

Diseño de mezcla con C.P. T-I	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Edad (días)		
Dosificación de C.H.	3	7	28
0% = Patrón	164.15	208.95	304.75
5%	174.49	214.45	268.85
10%	161.39	194.78	249.87
15%	145.36	181.91	198.22
20%	121.49	149.19	170.93

Fuente: Elaboración propia

En el Figura N° 33 se muestra el crecimiento de la resistencia del concreto hasta los 28 días.

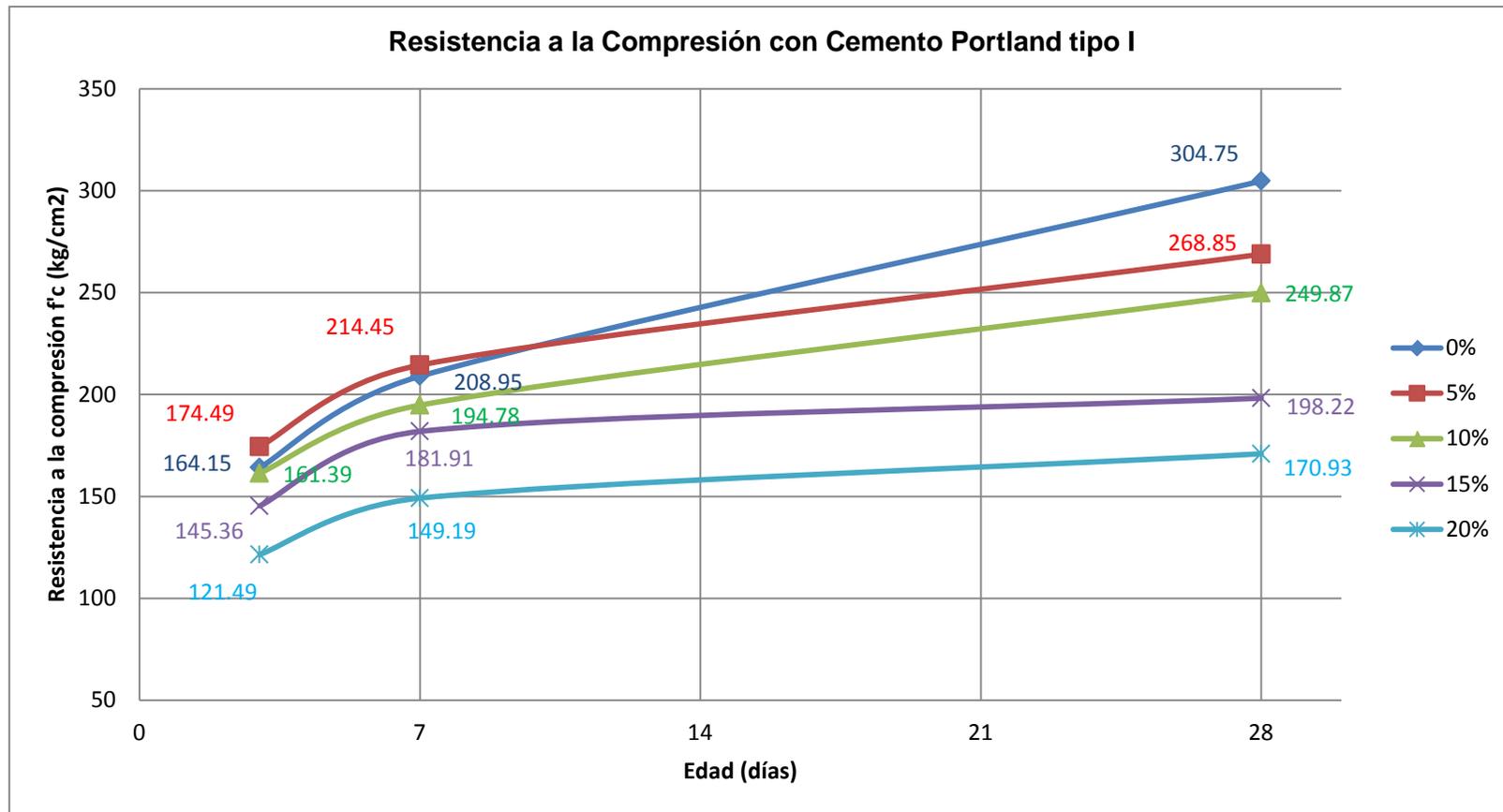


Figura N° 33: Resistencia a la compresión con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 44: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-I

Variación de la resistencia a la compresión	
Diseño con C.P. T-I	Edad (días)
Dosificación de C.H.	3
0% = Patrón	100%
5%	106%
10%	98%
15%	89%
20%	74%

Fuente: Elaboración propia

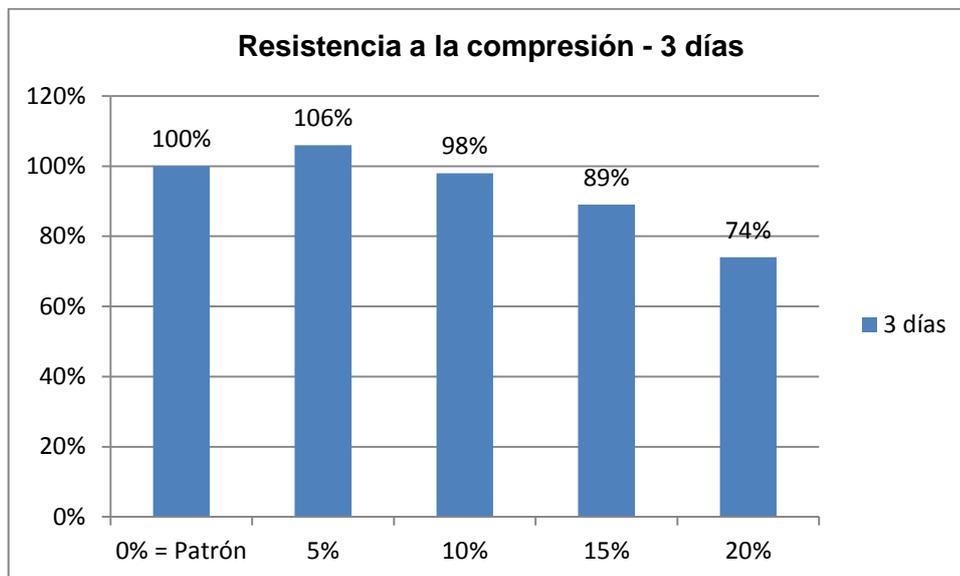


Figura N° 34: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, la resistencia a la compresión alcanzada a los 3 días (ver Tabla N° 44 y Figura N° 34):

Al 5% de polvo de cáscara de huevo se presenta un incremento en la resistencia a la compresión, al 10% de PCH se presenta una ligera reducción de la resistencia; y a mayores porcentajes de PCH la resistencia continúa disminuyendo. Por lo que 5% de PCH sería un buen porcentaje de reemplazo.

Tabla N° 45: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-I

Variación de la resistencia a la compresión	
Diseño con C.P. T-I	Edad (días)
Dosificación de C.H.	7
0% = Patrón	100%
5%	103%
10%	93%
15%	87%
20%	71%

Fuente: Elaboración propia

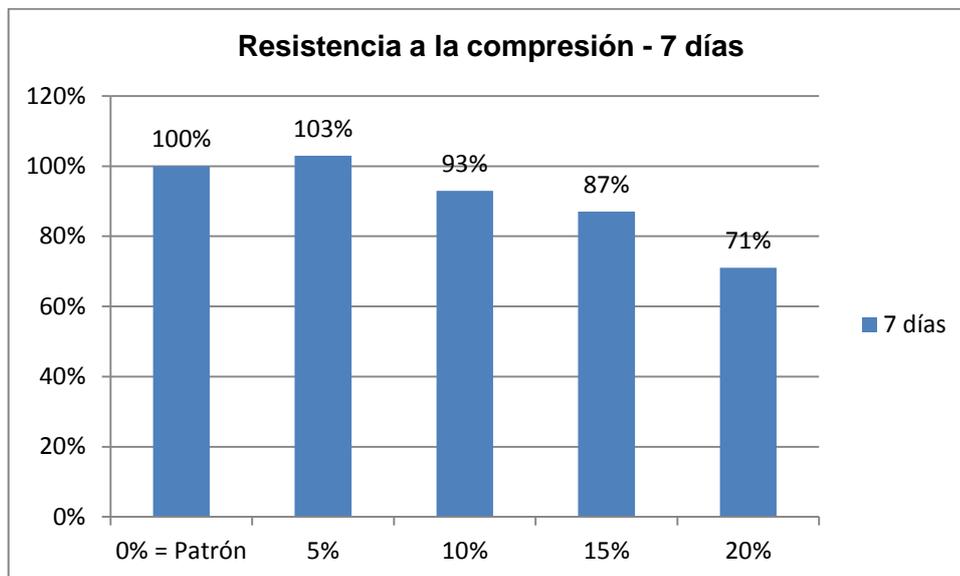


Figura N° 35: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, la resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días (ver Tabla N° 45 y Figura N° 35):

Al 5% de polvo de cáscara de huevo se presenta un incremento en resistencia a la compresión.

Tabla N° 46: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-I

Variación de la resistencia a la compresión	
Diseño con C.P. T-I	Edad (días)
Dosificación de C.H.	28
0% = Patrón	100%
5%	88%
10%	82%
15%	65%
20%	56%

Fuente: Elaboración propia

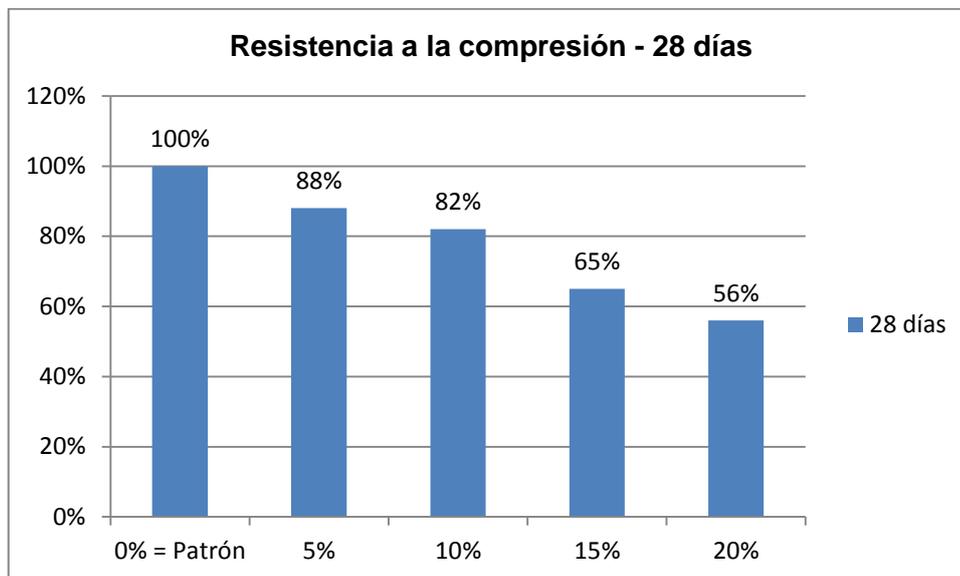


Figura N° 36: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-I

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días (ver Tabla N° 46 y Figura N° 36):

Se muestra una tendencia de reducción de la resistencia a la compresión, a mayor porcentaje de cáscara de huevo se obtiene una mayor disminución de la resistencia a la compresión.

Al 5% de polvo de cáscara de huevo se presenta una disminución del 12% en la resistencia a la compresión a los 28 días.

5.1.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

En el Figura N° 37 se muestra el crecimiento de la resistencia a la tracción.

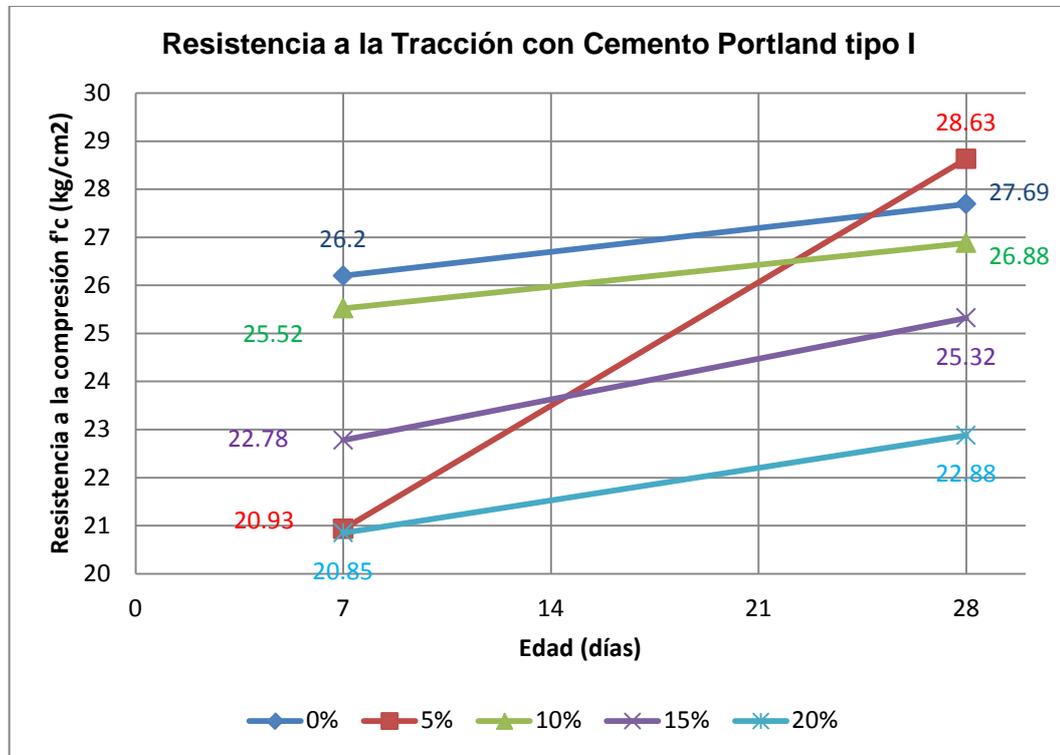


Figura N° 37: Resistencia a la tracción con CP T-I
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 47: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-I

Variación de la resistencia a la tracción por compresión diametral		
Diseño con C.P. T-I Dosificación de C.H.	Edad (días)	
	7	28
0% = Patrón	100%	100%
5%	80%	103%
10%	97%	97%
15%	87%	91%
20%	80%	83%

Fuente: Elaboración propia

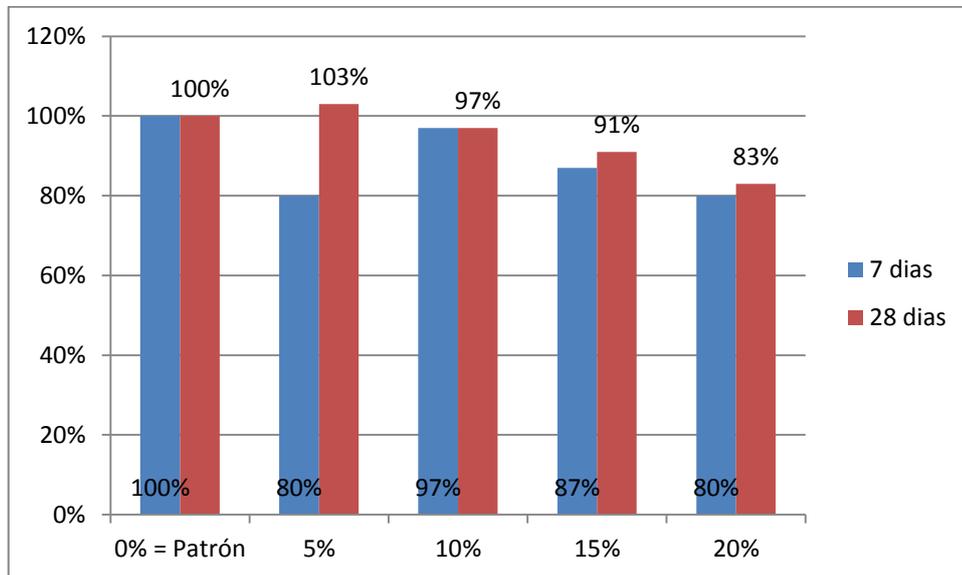


Figura N° 38: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-I
Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 47 y Figura N° 38):

De los resultados a los 7 días no se aprecia una tendencia fija, con 5% de PCH se obtuvo una resistencia a la tracción menor que con un 10% de PCH.

De los resultados a los 28 días si se aprecia una tendencia de descenso, a mayor porcentaje de cáscara de huevo se observa una disminución en la resistencia a la tracción. Con 5% de PCH se alcanzó una resistencia a la tracción mayor que la del concreto patrón.

En lo general con 10%, 15% y 20% de PCH se observa un crecimiento de la resistencia a la tracción muy similar a la del concreto patrón, en cambio con 5% de PCH comenzó con una resistencia baja a los 7 días pero a los 28 días alcanzó una resistencia mayor.

5.2 CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO TIPO IP

5.2.1 Análisis de propiedades del concreto en estado fresco

5.2.1.1 Asentamiento (NTP 339.035)

Tabla N° 48: Asentamiento con CP T-IP

Diseño con Cemento Portland Tipo IP		
Porcentaje de C.H.	Asentamiento (pulg.)	Variación de asentamiento
0% = Patrón	3.5	100%
5%	3.3	94%
10%	4.5	129%
15%	4.8	137%
20%	4.3	123%

Fuente: Elaboración propia

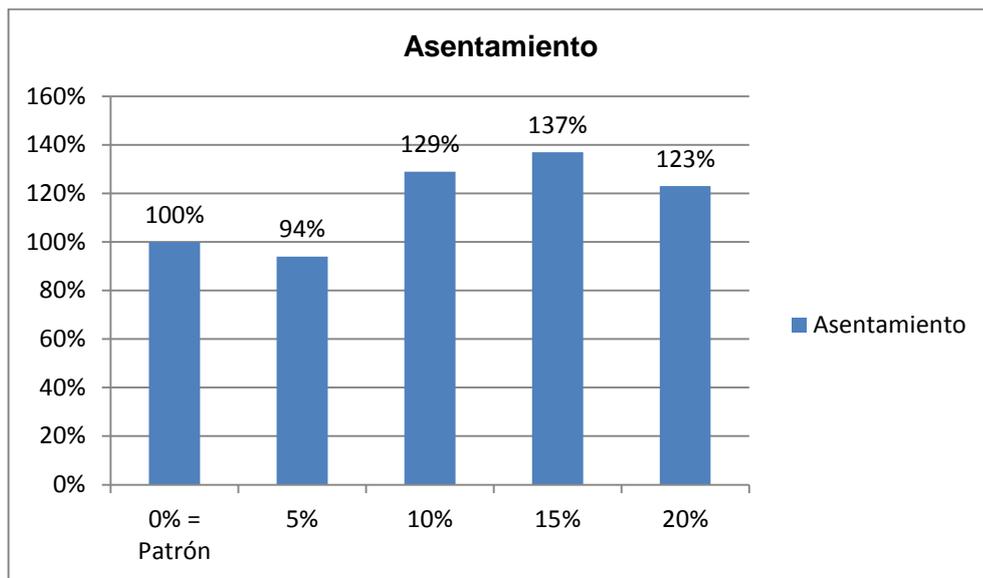


Figura N° 39: Variación del asentamiento con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 48 y Figura N° 39):

Para los porcentajes de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, los asentamientos fueron de 3.5", 3.3", 4.5", 4.8" y 4.3" respectivamente.

Al 5% de PCH se obtiene un asentamiento menor que el concreto patrón pero todavía está dentro del rango aceptable (rango de 3" – 4").

De los resultados no se observa una tendencia clara, pero los asentamientos resultaron ser mayores al concreto patrón.

Con 15% de PCH se obtuvo el mayor incremento del asentamiento, se observa un incremento del 37%.

5.2.1.2 Consistencia (NTP 339.085)

Tabla N° 49: Consistencia con CP T-IP

Diseño con Cemento Portland Tipo IP		
Porcentaje de C.H.	I.C. (%)	Variación de I.C.
0% = Patrón	18.67	100%
5%	24.47	131%
10%	29.93	160%
15%	27.53	147%
20%	17.47	94%

Fuente: Elaboración propia

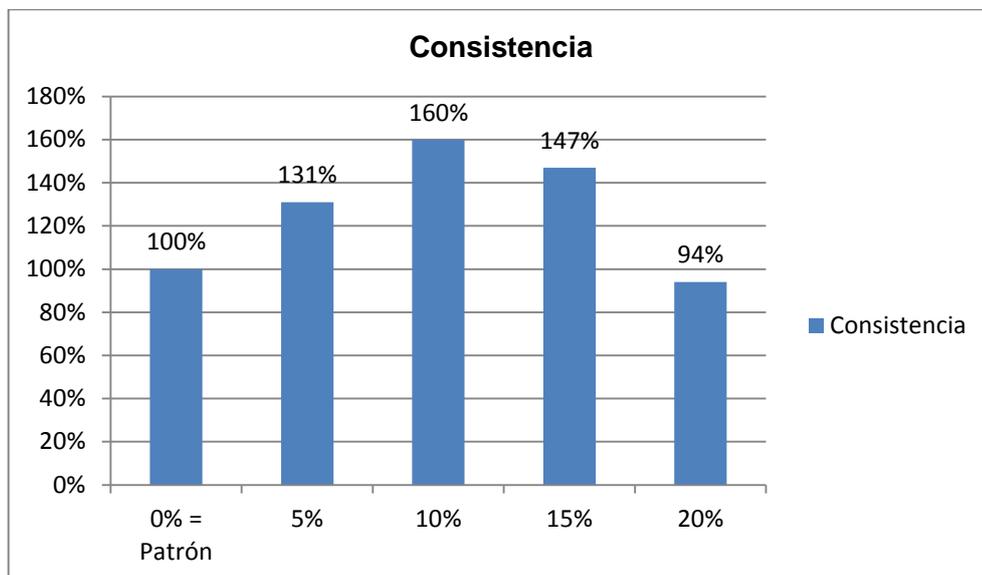


Figura N° 40: Variación de la consistencia con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 49 y Figura N° 40):

Los resultados muestran una tendencia de aumento con un pico al 10% de polvo de cáscara de huevo, alcanzando el mayor índice de consistencia.

Posteriormente con 15% y 20% de PCH se observa que ocurre un descenso del índice de consistencia.

5.2.1.3 Peso unitario (NTP 339.046)

Tabla N° 50: Peso unitario con CP T-IP

Diseño con Cemento Portland Tipo IP		
Porcentaje de C.H.	P.U. (kg/m ³)	Variación de P.U.
0% = Patrón	2380	100.0%
5%	2363	99.3%
10%	2353	98.9%
15%	2344	98.5%
20%	2304	96.8%

Fuente: Elaboración propia

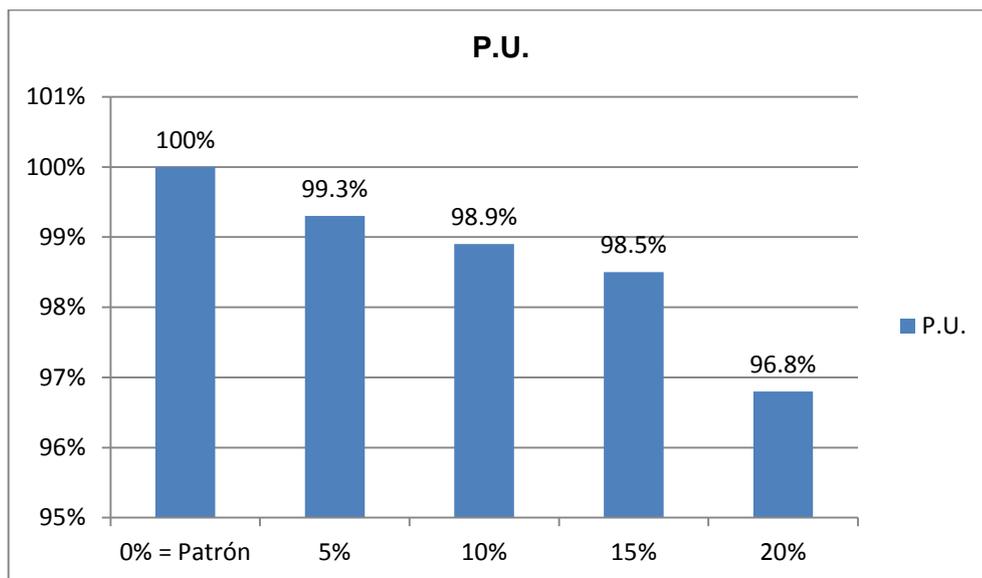


Figura N° 41: Variación del peso unitario con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 50 y Figura N° 41):

Para los porcentajes de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, los pesos unitarios del concreto fueron de 2380, 2363, 2353, 2344 y 2304 kg/m³ respectivamente. De los resultados se observa una tendencia de descenso del peso unitario, por lo que a mayor presencia de polvo de cáscara de huevo se obtiene un peso unitario menor.

Para un 20% de PCH se obtiene el menor peso unitario lo que equivale a un concreto más ligero.

5.2.1.4 Tiempo de fraguado (NTP 339.082)

Tabla N° 51: Tiempo de fraguado inicial con CP T-IP

Diseño con Cemento Portland Tipo IP		
Porcentaje de C.H.	Tiempo de fragua inicial (min.)	Variación de fragua inicial
0% = Patrón	419	100%
5%	490	117%
10%	473	113%
15%	557	133%
20%	749	179%

Fuente: Elaboración propia

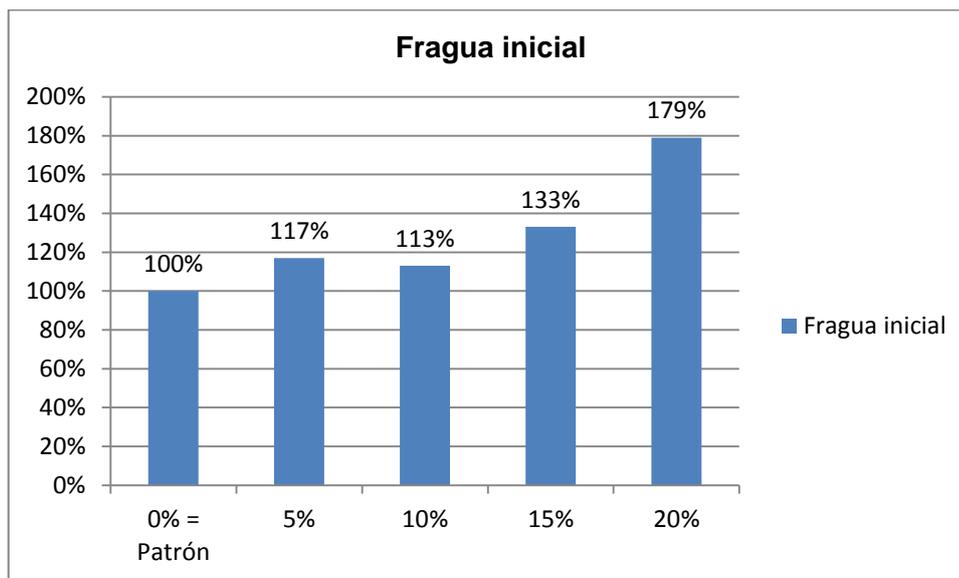


Figura N° 42: Variación del fraguado inicial con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, respecto al fraguado inicial (ver Tabla N° 51 y Figura N° 42):

Para los porcentaje de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10% y 15%, los tiempos de fragua inicial fueron de 419, 490, 473, 557 y 749 minutos respectivamente.

De los resultados se observa que hay una tendencia de aumento del tiempo de fragua inicial, con 5% de PCH se obtuvo un incremento de 71 min., con 10% de PCH se obtuvo un incremento de 54 min., con 15% de PCH se obtuvo un incremento de 138 min. y con 25% de PCH se obtuvo un incremento de 330 min.

La presencia de polvo de cáscara de huevo incrementó el tiempo de la fragua inicial.

Tabla N° 52: Tiempo de fraguado final con CP T-IP

Diseño con Cemento Portland Tipo IP		
Porcentaje de C.H.	Tiempo de fragua final (min.)	Variación de fragua final
0% = Patrón	607	100%
5%	753	124%
10%	664	109%
15%	804	132%
20%	1214	200%

Fuente: Elaboración propia

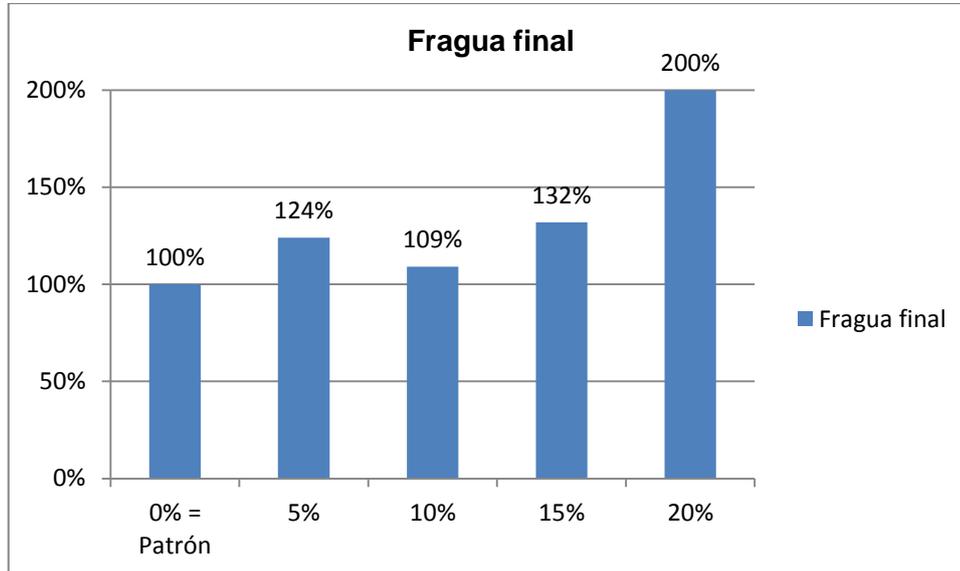


Figura N° 43: Variación del fraguado final con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, respecto al fraguado final (ver Tabla N° 52 y Figura N° 43):

Para los porcentaje de polvo de cáscara de huevo de 0%, 5%, 10% y 15%, los tiempos de fragua final fueron de 607, 753, 664, 804 y 1214 minutos respectivamente.

De los resultados se observa que hay una tendencia de aumento del tiempo de fragua final, con 5% de PCH se obtuvo un incremento de 146 min., con 10% de PCH se obtuvo un incremento de 57 min., con 15% de PCH se obtuvo un incremento de 197 min. y con 20% de PCH se obtuvo un incremento de 607 min.

La presencia de polvo de cáscara de huevo incremento el tiempo de la fragua final.

De los resultados en la fragua inicial y final se deduce que el polvo de cáscara de huevo actúa como un retardante de fragua, extendiendo los tiempos de fragua inicial y final.

5.2.2 Análisis de propiedades del concreto en estado endurecido

5.2.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

En la Tabla N° 53 se aprecia el resumen de las resistencias alcanzadas por las probetas, elaboradas con cemento tipo IP y presencia de polvo de cáscara de huevo.

Tabla N° 53: Resistencia a la compresión con CP T-IP

Diseño de mezcla con C.P. T-IP	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Edad (días)		
Dosificación de C.H.	3	7	28
0% = Patrón	82.51	122.96	212.58
5%	116.84	147.34	181.13
10%	78.66	117.98	164.54
15%	76.30	101.47	141.66
20%	64.00	96.14	121.98

Fuente: Elaboración propia

En el Figura N° 44 se muestra la evolución de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo.

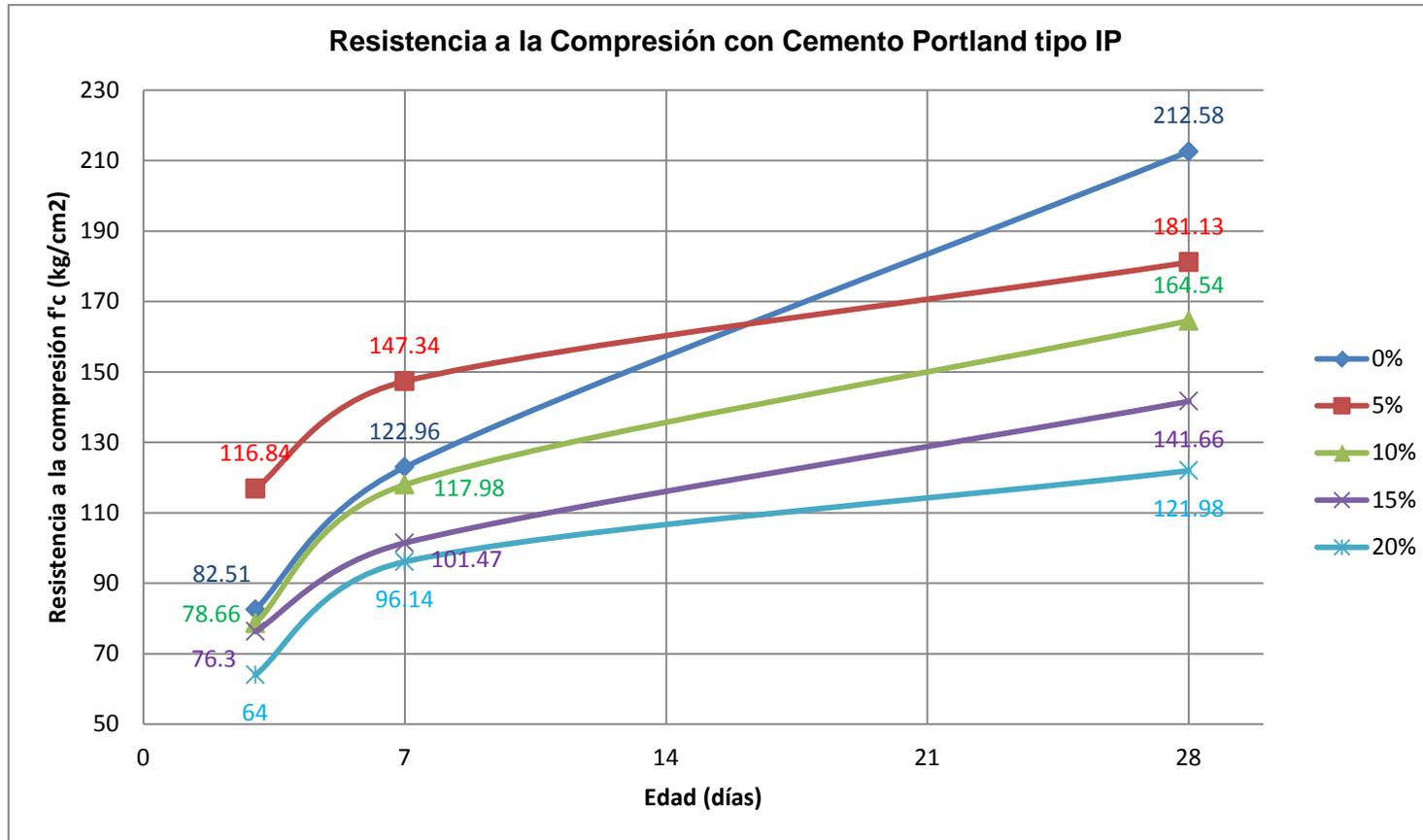


Figura N° 44: Resistencia a la compresión con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 54: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-IP

Variación de la resistencia a la compresión	
Diseño con C.P. T-IP	Edad (días)
Dosificación de C.H.	3
0% = Patrón	100%
5%	142%
10%	95%
15%	92%
20%	78%

Fuente: Elaboración propia

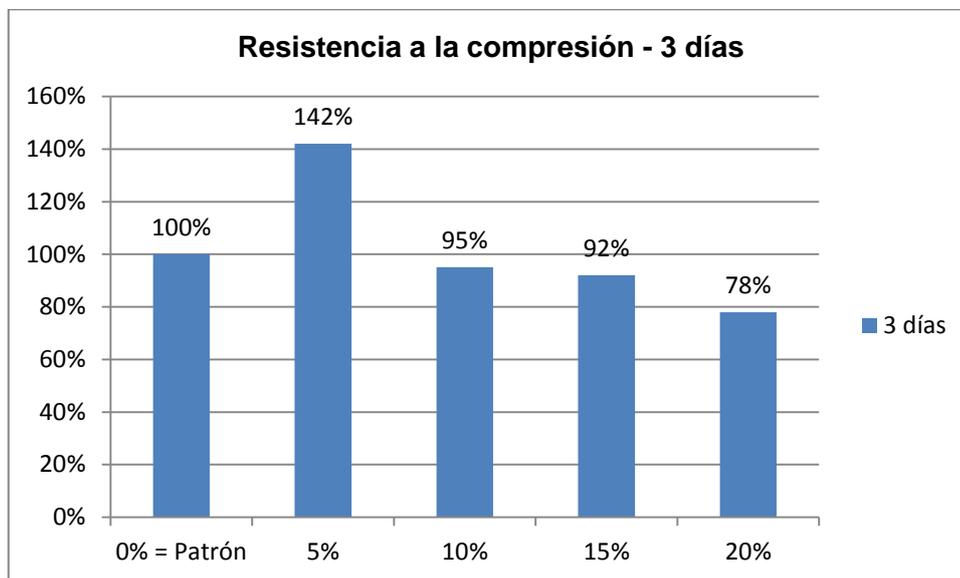


Figura N° 45: Variación de resistencia a la compresión - 3 días con CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, la resistencia a la compresión alcanzada a los 3 días (ver Tabla N° 54 y Figura N° 45):

Al 5% de polvo de cáscara de huevo se presenta un incremento del 42% en la resistencia a la compresión, al 10% de PCH se presenta una ligera reducción de la resistencia; y a mayores porcentajes de PCH la resistencia continúa disminuyendo. Por lo que 5% de PCH sería un buen porcentaje de reemplazo.

Tabla N° 55: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-IP

Variación de la resistencia a la compresión	
Diseño con C.P. T-IP	Edad (días)
Dosificación de C.H.	7
0% = Patrón	100%
5%	120%
10%	96%
15%	83%
20%	78%

Fuente: Elaboración propia

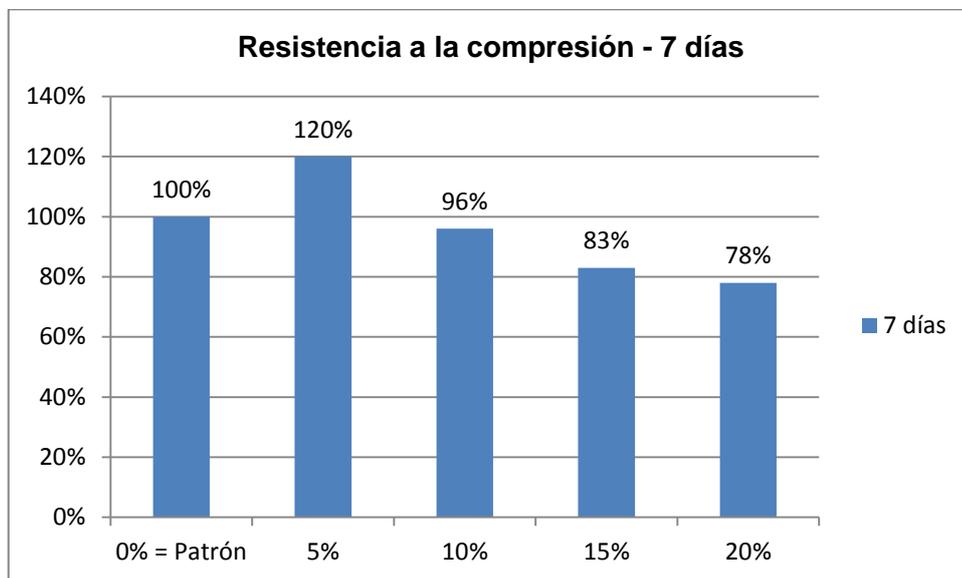


Figura N° 46: Variación de resistencia a la compresión - 7 días con CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, la resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días (ver Tabla N° 55 y Figura N° 46):

Al 5% de polvo de cáscara de huevo se presenta un incremento en la resistencia a la compresión, y a mayores porcentajes de PCH se presenta una reducción de la resistencia. Por lo que 5% de PCH es un buen porcentaje de reemplazo.

Tabla N° 56: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-IP

Variación de la resistencia a la compresión	
Diseño con C.P. T-IP	Edad (días)
Dosificación de C.H.	28
0% = Patrón	100%
5%	85%
10%	77%
15%	67%
20%	57%

Fuente: Elaboración propia

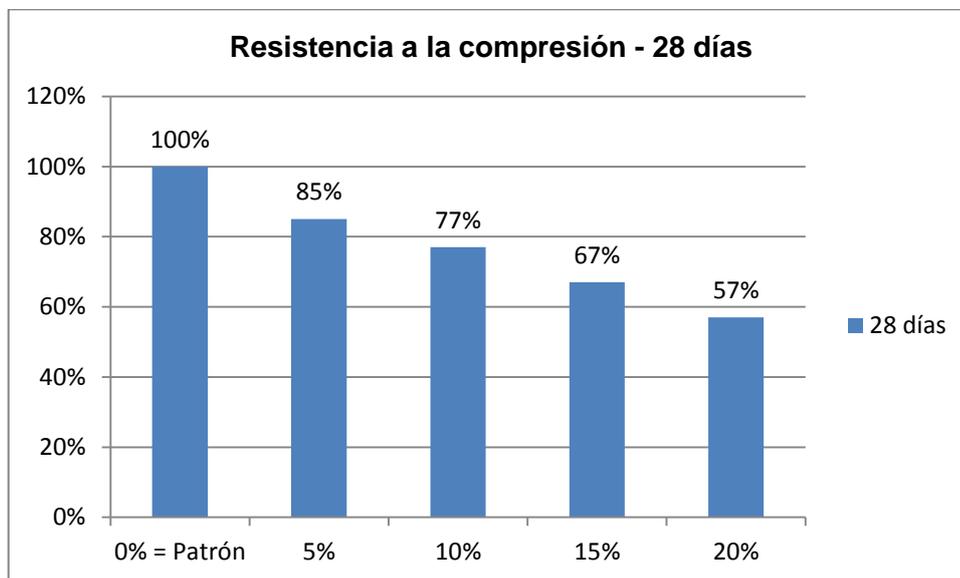


Figura N° 47: Variación de resistencia a la compresión - 28 días con CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón, la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días (ver Tabla N° 56 y Figura N° 47):

Se muestra una tendencia de reducción de la resistencia a la compresión, a mayor porcentaje de cáscara de huevo se obtiene una mayor disminución de la resistencia a la compresión.

Al 5% de polvo de cáscara de huevo se presenta una disminución del 15% en la resistencia a la compresión a los 28 días.

5.2.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

En el Figura N° 48 se muestra el crecimiento de la resistencia a la tracción.

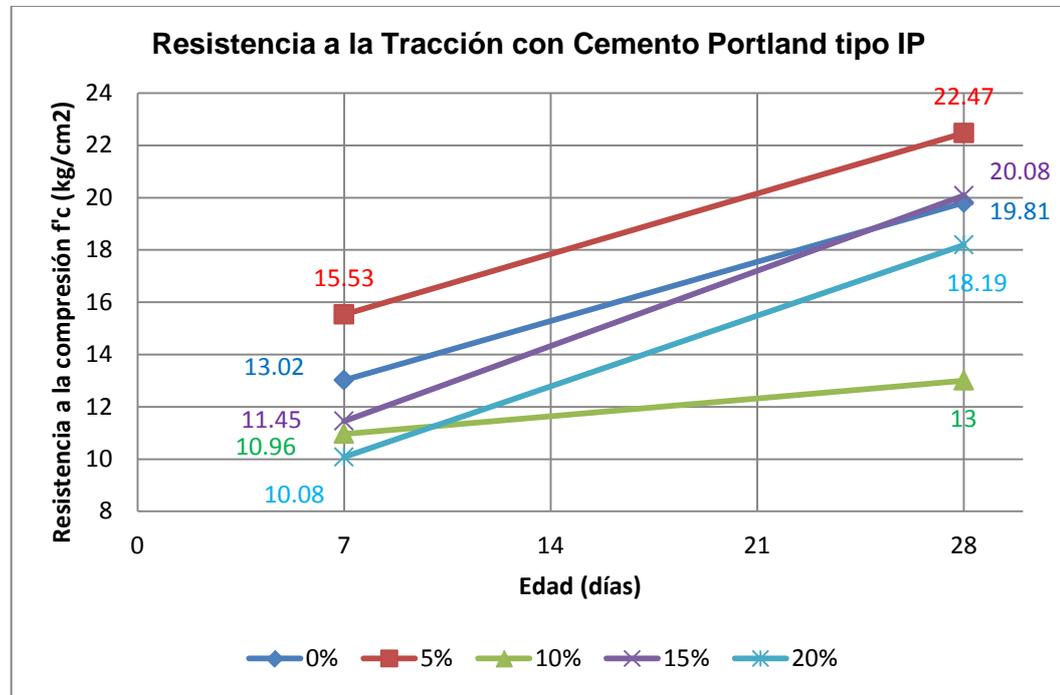


Figura N° 48: Resistencia a la tracción con CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 57: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-IP

Variación de la resistencia a la tracción por compresión diametral		
Diseño con C.P. T-IP Dosificación de C.H.	Edad (días)	
	7	28
0% = Patrón	100%	100%
5%	119%	113%
10%	84%	66%
15%	88%	101%
20%	77%	92%

Fuente: Elaboración propia

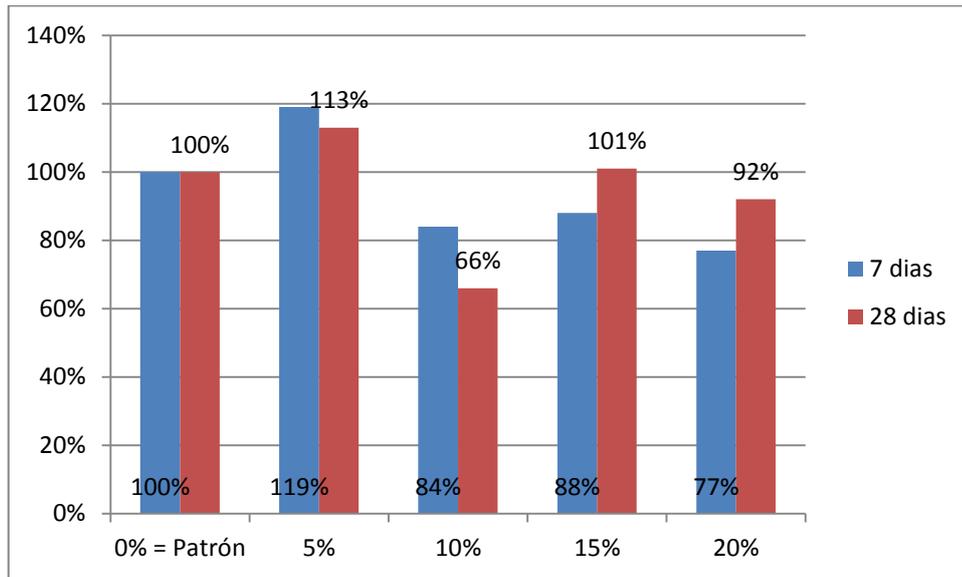


Figura N° 49: Variación de la resistencia a la tracción con CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

De la comparativa con el concreto patrón (ver Tabla N° 57 y Figura N° 49):

De los resultados a los 7 días no se aprecia una tendencia fija, con 5% de PCH se observa una resistencia a la tracción mayor; y con el 10%, 15% y 20% se observa una disminución de la resistencia a la tracción.

De los resultados a los 28 días no se aprecia una tendencia fija, con el 5% y 15% de PCH se observan resistencias a la tracción mayores, y con el 10% y 20% se observan resistencias a la tracción menores al del concreto patrón.

Con el 5% de PCH se alcanzó la mayor resistencia a la tracción.

En lo general con el 5% de PCH se observa un incremento en la resistencia a la tracción a edades de 7 y 28 días, siendo este un buen porcentaje de reemplazo.

5.3 COMPARATIVA DE LA APLICACIÓN DE PCH

5.3.1 Concreto en estado fresco

5.3.1.1 Asentamiento (NTP 339.035)

Tabla N° 58: Porcentaje de asentamiento con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en el asentamiento		
Porcentaje de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	132%	94%
10%	158%	129%
15%	177%	137%
20%	121%	123%

Fuente: Elaboración propia

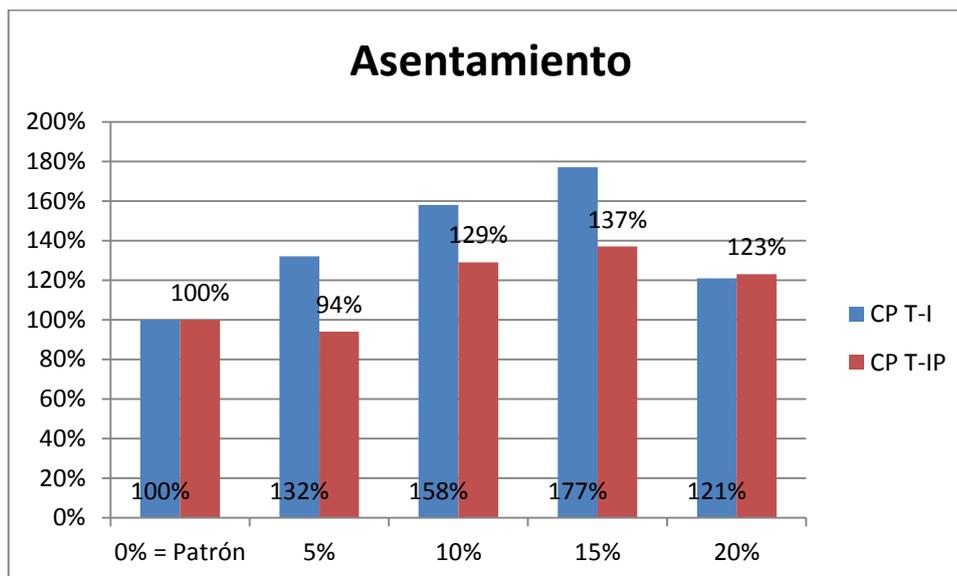


Figura N° 50: Variación del asentamiento con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°58 se extrajeron de la Tabla N°38 y Tabla N°48.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP se puede decir (ver Figura N°50):

Con reemplazos del 5% al 15% de PCH por peso de cemento, se aprecian incrementos en el asentamiento del concreto.

El incremento es más significativo con el empleo de cemento tipo I.

5.3.1.2 Consistencia (NTP 339.085)

Tabla N° 59: Porcentaje de consistencia con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en la consistencia		
Porcentaje de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	239%	131%
10%	89%	160%
15%	230%	147%
20%	148%	94%

Fuente: Elaboración propia

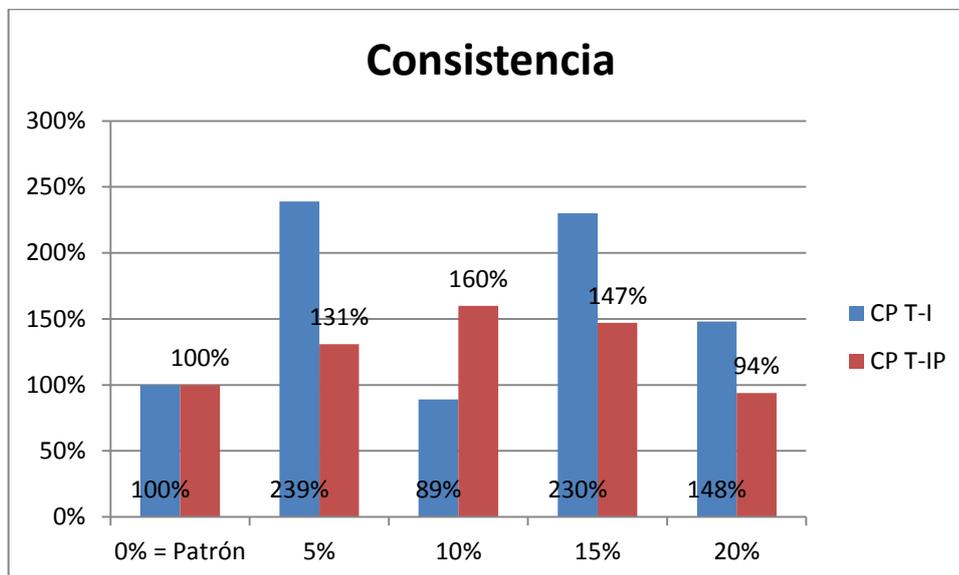


Figura N° 51: Variación de la consistencia con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°59 se extrajeron de la Tabla N°39 y Tabla N°49.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP se puede decir (ver Figura N°51):

Con reemplazos del 5% y 15% de PCH por peso de cemento, se aprecian incrementos en la consistencia del concreto.

El incremento es más significativo con el empleo de cemento tipo I.

5.3.1.3 Peso unitario (NTP 339.046)

Tabla N° 60: Porcentaje de peso unitario con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en el peso unitario		
Porcentaje de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	99%	99.3%
10%	94%	98.9%
15%	90%	98.5%
20%	97%	96.8%

Fuente: Elaboración propia

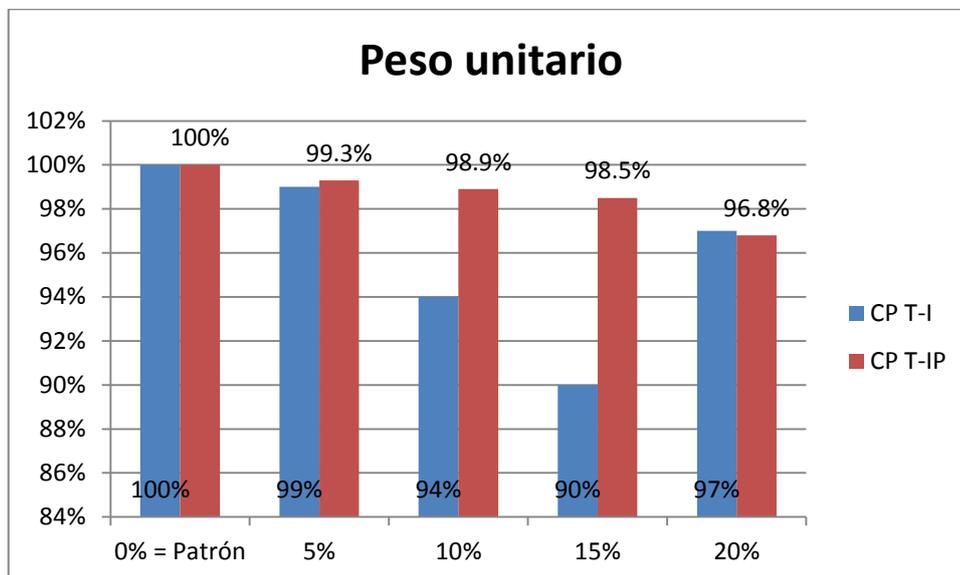


Figura N° 52: Variación del peso unitario con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°60 se extrajeron de la Tabla N°40 y Tabla N°50.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP se puede decir (ver Figura N°52):

Con reemplazos del 5% al 15% de PCH por peso de cemento, se aprecia una disminución en el peso unitario del concreto.

La disminución es más significativa con el empleo de cemento tipo I.

5.3.1.4 Tiempo de fraguado (NTP 339.082)

Tabla N° 61: Porcentaje de tiempo de fragua inicial con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en la fragua inicial		
Porcentaje de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	113%	117%
10%	125%	113%
15%	132%	133%
20%	149%	179%

Fuente: Elaboración propia

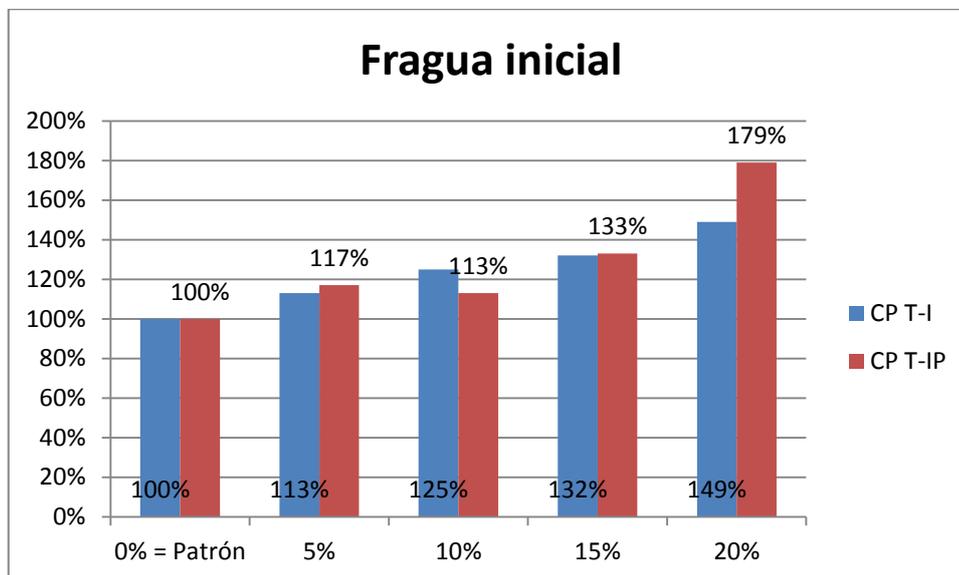


Figura N° 53: Variación de fragua inicial con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°61 se extrajeron de la Tabla N°41 y Tabla N°51.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP se puede decir (ver Figura N°52):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos presentan un incremento del tiempo de fragua inicial. Con 20% de PCH en cemento tipo I y tipo IP, el tiempo de fragua inicial tiene un incremento del 49% y 79% respectivamente. El incremento es más significativo con el empleo de cemento tipo IP. Para ambos tipos de cemento, a mayor reemplazo de PCH, mayor es el tiempo de fragua inicial.

Tabla N° 62: Porcentaje de tiempo de fragua final con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en la fragua final		
Porcentaje de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	117%	124%
10%	131%	109%
15%	138%	132%
20%	146%	200%

Fuente: Elaboración propia

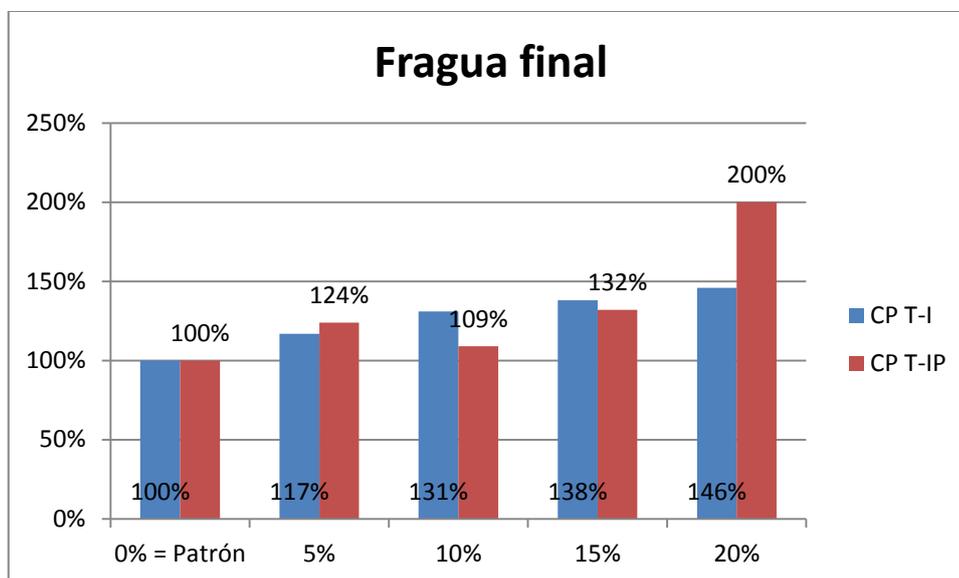


Figura N° 54: Variación de la fragua final con CP T-I y CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°62 se extrajeron de la Tabla N°42 y Tabla N°52.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP se puede decir (ver Figura N°54):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos presentan un incremento del tiempo de fragua final. Con 20% de PCH en cemento tipo I y tipo IP, el tiempo de fragua final tiene un incremento del 46% y 100% respectivamente. El incremento es más significativo con el empleo de cemento tipo IP. Para ambos tipos de cemento, a mayor reemplazo de PCH, mayor es el tiempo de fragua final.

5.3.2 Análisis de propiedades del concreto en estado endurecido

5.3.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

Se evaluará una comparativa de las variaciones porcentuales de las resistencias a la compresión alcanzadas por el concreto a los 3, 7 y 28 días, utilizando cemento tipo I y tipo IP.

Tabla N° 63: Variación de resistencia a la compresión a los 3 días con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en la resistencia a la compresión - 3 días		
Dosificación de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	106%	142%
10%	98%	95%
15%	89%	92%
20%	74%	78%

Fuente: Elaboración propia

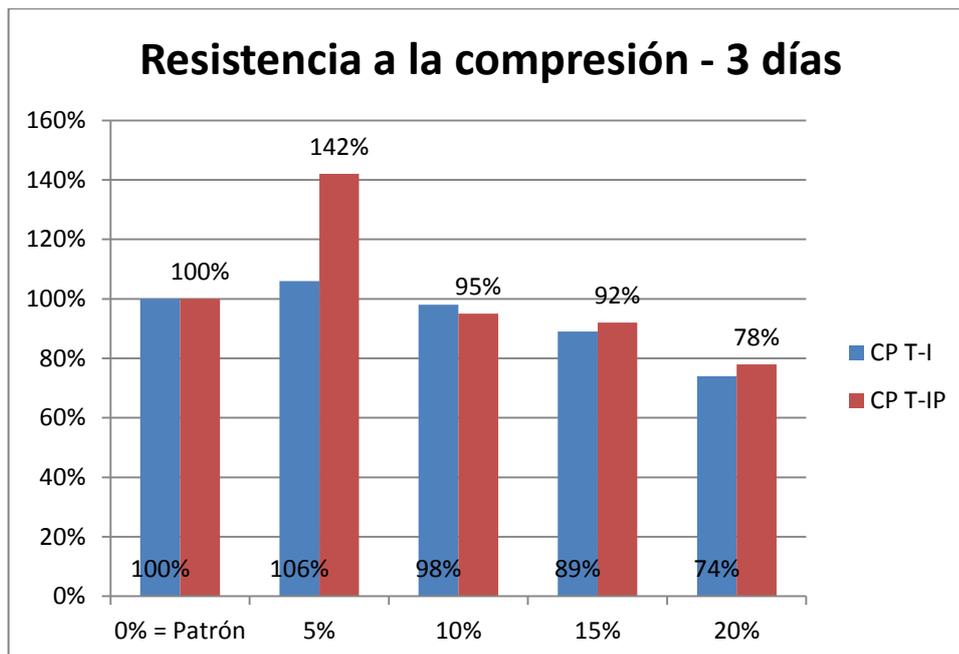


Figura N° 55: Variación de resistencia a la compresión a los 3 días con CP T-I y CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°63 se extrajeron de la Tabla N°44 y Tabla N°54.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP, y la resistencia alcanzada a los 3 días se puede decir (ver Figura N°55):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos tipos de cemento presentan un comportamiento similar, al 10%, 15% y 20% de PCH presentan variaciones en la resistencia muy cercanos entre sí, solo al 5% de PCH el incremento de la resistencia es de 6% y 42% con el cemento tipo I y tipo IP respectivamente, siendo más significativo con el uso de cemento tipo IP.

Tabla N° 64: Variación de resistencia a la compresión a los 7 días con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en la resistencia a la compresión - 7 días		
Dosificación de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	103%	120%
10%	93%	96%
15%	87%	83%
20%	71%	78%

Fuente: Elaboración propia

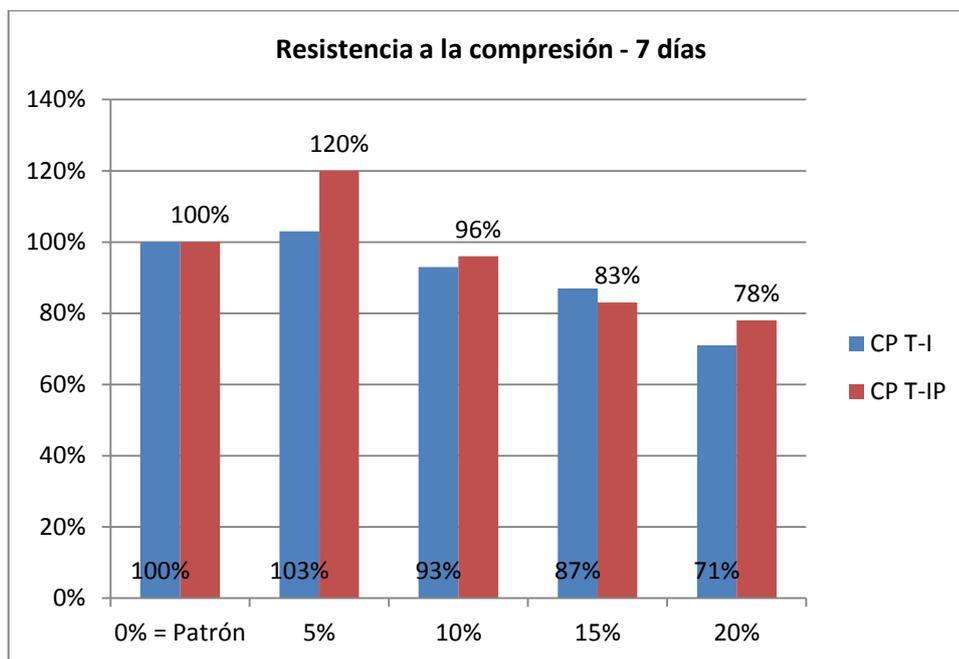


Figura N° 56: Variación de resistencia a la compresión a los 7 días con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°64 se extrajeron de la Tabla N°45 y Tabla N°55.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP, y la resistencia alcanzada a los 7 días se puede decir (ver Figura N°56):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos tipos de cemento presentan un comportamiento similar, al 10%, 15% y 20% de PCH presentan variaciones en la resistencia muy cercanos entre sí, solo al 5% de PCH el incremento de la resistencia es de 3% y 20% con el cemento tipo I y tipo IP respectivamente, siendo más significativo con el uso de cemento tipo IP.

Tabla N° 65: Variación de resistencia a la compresión a los 28 días con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios en la resistencia a la compresión - 28 días		
Dosificación de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	88%	85%
10%	82%	77%
15%	65%	67%
20%	56%	57%

Fuente: Elaboración propia

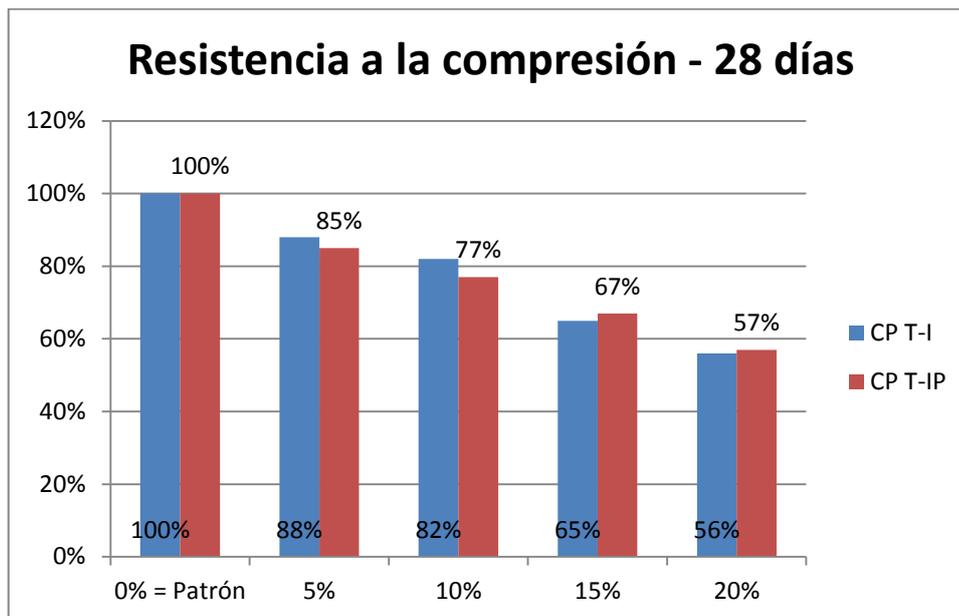


Figura N° 57: Variación de resistencia a la compresión a los 28 días con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°65 se extrajeron de la Tabla N°46 y Tabla N°56.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP, y la resistencia alcanzada a los 28 días se puede decir (ver Figura N°57):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos tipos de cemento presentan un comportamiento similar, al 5%, 10%, 15% y 20% de PCH presentan variaciones en la resistencia muy cercanos entre sí.

5.3.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

Se evaluará una comparativa de las variaciones porcentuales de las resistencias por compresión diametral alcanzadas por el concreto a los 7 y 28 días, utilizando cemento tipo I y tipo IP.

Tabla N° 66: Variación de resistencia a la tracción a los 7 días con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios de resistencia a la tracción por compresión diametral - 7 días		
Dosificación de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	80%	119%
10%	97%	84%
15%	87%	88%
20%	80%	77%

Fuente: Elaboración propia

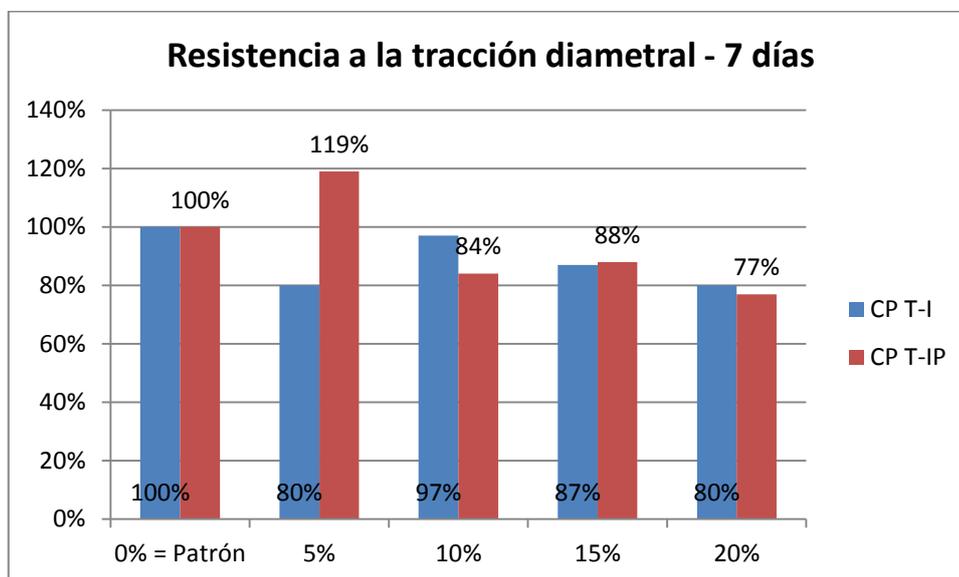


Figura N° 58: Variación de la resistencia a la tracción a los 7 días con CP T-I y CP T-IP
Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°66 se extrajeron de la Tabla N°47 y Tabla N°57.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP, y la resistencia alcanzada a los 7 días se puede decir (ver Figura N°56):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos tipos de cemento presentan un comportamiento similar, al 10%, 15% y 20% de PCH presentan variaciones en la resistencia muy cercanos entre sí, solo al 5% de PCH la variación de la resistencia es negativa en 20% y positivo en 19% con el cemento tipo I y tipo IP respectivamente, siendo más favorable con el uso de cemento tipo IP.

Tabla N° 67: Variación de resistencia a la tracción a los 28 días con CP T-I y CP T-IP

Porcentaje de cambios de resistencia a la tracción por compresión diametral - 28 días		
Dosificación de C.H.	CP T-I	CP T-IP
0% = Patrón	100%	100%
5%	103%	113%
10%	97%	66%
15%	91%	101%
20%	83%	92%

Fuente: Elaboración propia

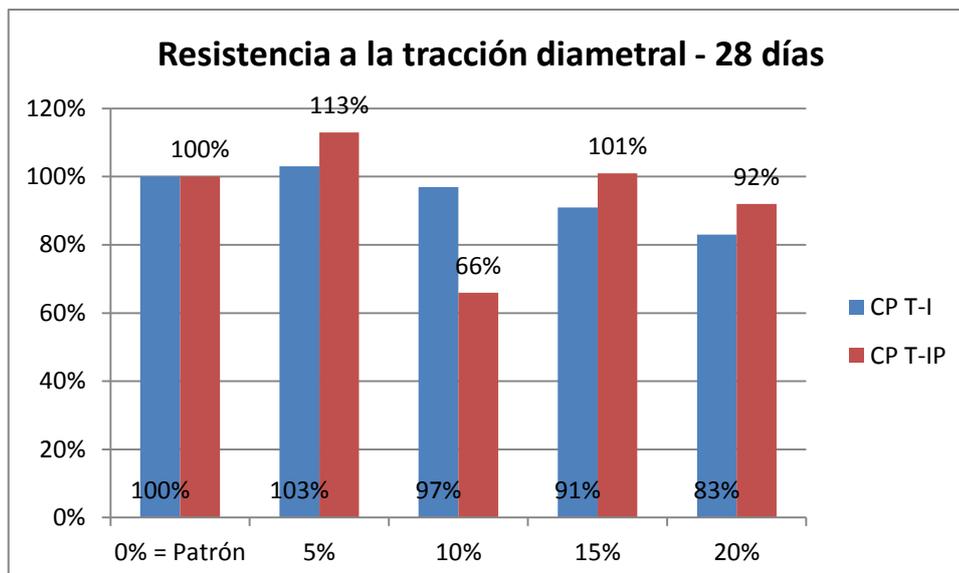


Figura N° 59: Variación de la resistencia a la tracción a los 28 días con CP T-I y CP T-IP

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla N°67 se extrajeron de la Tabla N°47 y Tabla N°57.

De la aplicación de Polvo de Cáscara de Huevo en la elaboración de concreto con cemento tipo I y tipo IP, y la resistencia alcanzada a los 28 días se puede decir (ver Figura N°56):

Después de agregar PCH a las mezclas de concreto, ambos tipos de cemento presentan un comportamiento similar, al 5%, 10%, 15% y 20% de PCH presentan variaciones en la resistencia muy cercanos entre sí.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación se obtuvieron de la observación científica de los resultados, a los que se llegó luego de determinados ensayos de laboratorio.

1. La adición de polvo de cáscara de huevo como reemplazo parcial de cemento, produjo en el concreto las siguientes características: un incremento gradual del asentamiento, en la consistencia y en el tiempo de fragua; también se produjo una disminución gradual del peso unitario. Se observó las mismas características utilizando los cementos portland tipo I y tipo IP.
2. Para el cemento tipo I y tipo IP, el porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por cáscara de huevo es del 5%, en este porcentaje se obtiene un incremento de la resistencia a edades tempranas al igual que un incremento de la trabajabilidad del concreto en estado fresco y una reducción del peso unitario del mismo. Logrando de esta manera obtener mejoras en el concreto sin efectos negativos en algunas de sus principales propiedades.
3. La resistencia a la compresión del concreto con cemento portland tipo I y 5% de PCH (polvo de cáscara de huevo), fue superior en un 6% y 2% al concreto patrón en edades tempranas de 3 y 7 días respectivamente, sin embargo a los 28 días se obtuvo una disminución en 12% de la resistencia en comparación con el concreto patrón. Para mayores porcentajes de PCH se obtuvieron resistencias por debajo del concreto patrón. En el caso de la resistencia a la compresión del concreto con cemento portland tipo IP y 5% de PCH, se obtuvo resistencias mayores en 40% y 20% al concreto patrón en edades tempranas de 3 y 7 días respectivamente, sin embargo a los 28 días se obtuvo una disminución en 15% de la resistencia en comparación con el concreto patrón. Para mayores proporciones de PCH se obtiene resistencias por debajo del concreto patrón.
4. La resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con cemento portland tipo I y 5% de PCH, fue superior en 3% al concreto

patrón a los 28 días. En el caso de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con cemento portland tipo IP y 5% de PCH, fue superior en 19% y 13% al concreto patrón a los 7 y 28 días respectivamente.

5. La presencia de polvo de cáscara de huevo afectó la trabajabilidad del concreto, usando cemento tipo I o tipo IP se observó un aumento de la trabajabilidad cuando se incrementa el porcentaje de polvo de cáscara de huevo.
6. Según los ensayos realizados y bajo condiciones de trabajo similares, el concreto con cemento tipo I presentó un mayor desempeño que el concreto con cemento tipo IP. Lo cual se ve reflejado en los resultados de los tiempos de fragua y las resistencias que se alcanzaron. En presencia del 5% de PCH como reemplazo de cemento y a los 28 días, se obtuvo una resistencia a la compresión de 268.85 kg/cm² y 181.13 kg/cm² utilizando cemento tipo I y tipo IP respectivamente.
7. Los resultados obtenidos de los ensayos permiten demostrar la viabilidad de utilizar cáscara de huevo como aglomerante, desde el punto de vista mecánico para sustituir parcialmente al cemento portland.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de realizar las mezclas de concreto, el polvo de cáscara de huevo se vierte junto con el cemento a la mezcladora.
2. El almacenamiento del polvo de cáscara de huevo debe ser en envases cerrados y almacenados en lugares secos protegidos de la lluvia.
3. Ampliar la presente investigación considerando lo siguiente:
 - El uso de cáscara de huevo en diferentes tipos de elementos de concreto, así como elementos prefabricados o en juntas de ladrillos, incentivando así la conservación de los recursos naturales.
 - La resistencia alcanzada por especímenes de concreto a 60 y 90 días de curado para determinar la curva de crecimiento de la resistencia de compresión.
 - La absorción de agua, así como los cambios en la permeabilidad y el comportamiento bajo otras condiciones ambientales, por ejemplo en ambientes cálidos o ambientes salinos.
 - Analizar la interacción del polvo de cáscara de huevo con otras marcas y tipos de cemento del mercado y así poder conocer su comportamiento. Recordar que cada marca y tipo de cemento producirá diferentes resultados según el ambiente donde se trabaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, T. (2018). *Tecnología del concreto*. Perú.
- ASOCRETO. (2010). *Tecnología del concreto* (Tomo 1, 3ra ed.). Colección del Concreto. Colombia.
- Bartolomé, C., Mora, P., & Recalde, J. (2011). *Estado del arte de las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ en la industria del cemento*. España.
- Bornand, J. (2012). *Evaluación del desempeño de aditivos impermeabilizantes por cristalización como agentes promotores de la durabilidad del hormigón confeccionado con cementos portland puzolánicos* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio académico – Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112264>
- Burga, P. (2018). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de tesis UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/8805>
- Cagiao, J., Gómez, B., Doménech, J., Gutiérrez, S., Gutiérrez, H., Martínez, F., & González, B. (2010). *Huella ecológica del cemento*. Laboratorio de Ingeniería Sostenible. España.
- Defensoría del Pueblo. (2019). *Informe Defensorial N° 181: ¿Dónde va nuestra basura? Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales*. <https://www.defensoria.gob.pe/informes/informe-defensorial-no-181-donde-va-nuestra-basura/>
- El Peruano. (2022, 2 de octubre). *El consumo interno de cemento aumentó 1.28%*. <https://elperuano.pe/noticia/192988-el-consumo-interno-de-cemento-aumento-128>
- Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva. (7 de abril del 2024). En Wikipedia.

https://es.wikipedia.org/wiki/Fluorescencia_de_rayos_X_por_energ%C3%ADa_dispersiva

Fuentes, N., Fragozo, O., & Vizcaino, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99-116.
<https://doi.org/10.18359/rcin.1434>

Garriga, M., Bacigalupo, H., Mettler, D., Garay, J., Cerdá, N., & Carbia, M. (2016). *Producción sustentable de cemento. Caso de estudio en la Patagonia Central*. Argentina. En *Actas del IX Congreso Argentino de Ingeniería Industrial – COINI 2016* (ISBN 978-987-1896-74-5).
https://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2016/trabajos/A011_COINI2016.pdf

Hilario, D. (2019). *Estudio de las características del concreto con inclusión de fibra de acero Sika Fiber Cho 80/60 NB* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio de tesis UNI.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/21243>

Hincke, M., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodríguez-Navarro, A., & McKee, M. (2012). The eggshell: structure, composition and mineralization. *Frontiers in Bioscience (Landmark Edition)*, 17(4), 1266-1280.
<https://doi.org/10.2741/3985>

Instituto de Estudios del Huevo. (2009). *El gran libro del huevo*. España.

Javali, S., Chandrashekar, A. R., Naganna, S. R., Manu, D. S., Hiremath, P., Preethi, H. G., & Kumar, N. V. (2017). Eco-concrete for sustainability: Utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(9), 2291-2304.
<https://doi.org/10.1007/S10098-017-1419-9>

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.

- Ludovico, A., & Hideo, N. (2012). *Compuesto de cáscara de huevo y mortero de cemento portland*. Universidad Estatal de Campinas, San Pablo, Brasil.
- Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para ingeniería civil* (2da ed.). Pearson Educación.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI. (2022). *Boletín estadístico mensual de Producción y Comercialización de Productos Avícolas*.
- Mtallib, M., & Rabiou, A. (2009). Effects of eggshells ash (ESA) on the setting time of cement. *Nigerian Journal of Technology*, 28(2), 29-38.
<https://doi.org/10.4314/njt.282.118>
- Naqi, A., & Jang, J. G. (2019). Recent progress in green cement technology utilizing low-carbon emission fuels and raw materials: A review. *Sustainability*, 11(2), 537. <https://doi.org/10.3390/su11020537>
- Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología del concreto*. México.
- Oficemen. (2020). *Hoja de ruta de la industria cementera española para alcanzar la neutralidad climática en 2050*.
<https://www.oficemen.com/sostenibilidad/hacia-la-neutralidad-climatica-en-2050/>
- Okonkwo, U., Odiong, I., & Akpabio, E. (2012). The effects of eggshell ash on strength properties of cement-stabilized lateric. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 3(1), 18-25.
<https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET/article/view/411>
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto* (2da ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.
- Pliya, P., & Cree, D. (2015). Limestone derived eggshell powder as a replacement in portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, 95(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.103>
- Reiban, D. (2017). *Evaluación experimental de las características mecánicas de matrices cementicias con adición de cáscara de huevo pulverizado*

- deshidratado y sus aplicaciones en la arquitectura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio institucional.
<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/20988>
- Rios, M. (2017). *Evaluación de la resistencia de concreto $f_c=210$ con adición de cáscara de huevo* [Tesis de pregrado, Universidad San Pedro]. Repositorio de tesis USP.
<https://repositorio.usanpedro.edu.pe/items/2d5e0b84-e008-4773-ba42-e0bcb9bf6bfc>
- Saldaña, J. (2018). *Resistencia a la compresión y permeabilidad de mortero sustituyendo el cemento en 10% y 20% por polvo de cáscara de huevo y ceniza de cáscara de arroz* [Tesis de pregrado, Universidad San Pedro]. Repositorio de tesis USP.
<https://repositorio.usanpedro.edu.pe/items/fb8c5c3b-1a80-4997-96e9-b42e84e0dcc4>
- Tan, Y. Y., Doh, S. I., & Chin, S. C. (2017). Eggshell as a partial cement replacement in concrete development. *Magazine of Concrete Research*, 70(13), 662-670. <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00003>
- U.S. Geological Survey. (2018). *Mineral commodity summaries 2018*. Reston, VA, USA. <https://doi.org/10.3133/70194932>
- Universidad Nacional de Ingeniería - LABICER (s.f.). *Espectrómetro de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDX)*.
<https://labicer.uni.edu.pe/index.php/nuestros-equipos-sp-26139/espectrometro-de-fluorescencia-de-rayos-x->
- Yerramala, A. (2014). Properties of concrete with eggshell powder as cement replacement. *The Indian Concrete Journal*, 88(10), 94-105.
<https://www.researchgate.net/publication/276891886>
- Yura. (s. f.). *Manual digital: Cemento Portland Puzolánico tipo IP – Alta resistencia*. <https://studylib.es/doc/4463684/cemento-portland-puzol%C3%A1nico-tipo-ip-cemento-portland>

ANEXOS

Anexo A.....	129
Resultados de propiedades del concreto fresco	129
1. Asentamiento con cemento tipo I	129
2. Asentamiento con cemento tipo IP	129
3. Peso unitario con cemento tipo I	129
4. Peso unitario con cemento tipo IP	129
5. Consistencia con cemento tipo I.....	130
6. Consistencia con cemento tipo IP	131
7. Tiempo de fraguado con cemento tipo I	132
8. Tiempo de fraguado con cemento tipo IP	139
Anexo B.....	147
Resultados de propiedades del concreto endurecido.....	147
1. Resistencia a la compresión usando cemento portland tipo I	147
2. Resistencia a la compresión usando cemento portland tipo IP	153
3. Resistencia a la tracción por compresión diametral usando cemento portland tipo I.....	159
4. Resistencia a la tracción por compresión diametral usando cemento portland tipo IP	163
Anexo C.....	167
Resultados de ensayo de análisis de composición química.....	167
Anexo D.....	171
Panel fotográfico.....	171

ANEXO A**RESULTADOS DE PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO**

1. Asentamiento con cemento tipo I (Ver Página 79)

Porcentaje de cáscara de huevo	Agua (L/m ³)	Slump (pulg.)
0%	220	3.74
5%	220	4.92
10%	220	5.91
15%	220	6.61
20%	220	4.53

2. Asentamiento con cemento tipo IP (Ver Página 82)

Porcentaje de cáscara de huevo	Agua (L/m ³)	Slump (pulg.)
0%	230	3.54
5%	230	3.27
10%	230	4.49
15%	230	4.84
20%	230	4.25

3. Peso unitario con cemento tipo I (Ver Página 79)

Porcentaje de cáscara de huevo	Peso concreto (kg.)	Volumen (m ³)	P.U. (kg/m ³)
0%	16.79	0.007	2398.57
5%	16.55	0.007	2364.29
10%	16.70	0.007	2242.86
15%	15.13	0.007	2161.43
20%	16.26	0.007	2322.86

4. Peso unitario con cemento tipo IP (Ver Página 83)

Porcentaje de cáscara de huevo	Peso concreto (kg.)	Volumen (m ³)	P.U. (kg/m ³)
0%	16.66	0.007	2380.00
5%	16.54	0.007	2362.86
10%	16.47	0.007	2352.86
15%	16.41	0.007	2344.29
20%	16.13	0.007	2304.29

5. Consistencia con cemento tipo I (Ver Página 79)

a) Para 0% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	30.5 cm		d(4) = 31.0 cm
d(2) =	31.5 cm		d(5) = 30.0 cm
d(3) =	29.5 cm		d(6) = 29.7 cm
d(prom) =	30.37 cm		I.C. = 21.47%

b) Para 5% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	37.0 cm		d(4) = 37.0 cm
d(2) =	39.0 cm		d(5) = 37.5 cm
d(3) =	40.0 cm		d(6) = 36.5 cm
d(prom) =	37.83 cm		I.C. = 51.33%

c) Para 10% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	29.0 cm		d(4) = 29.5 cm
d(2) =	30.0 cm		d(5) = 29.5 cm
d(3) =	30.5 cm		d(6) = 30.0 cm
d(prom) =	29.75 cm		I.C. = 19.0%

d) Para 15% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	36.5 cm		d(4) = 38.0 cm
d(2) =	36.0 cm		d(5) = 37.5 cm
d(3) =	38.0 cm		d(6) = 38.0 cm
d(prom) =	37.33 cm		I.C. = 49.33%

e) Para 20% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	32.0 cm		d(4) = 33.5 cm
d(2) =	33.5 cm		d(5) = 33.0 cm
d(3) =	33.5 cm		d(6) = 32.3 cm
d(prom) =	32.97 cm		I.C. = 31.87%

Resultando la siguiente tabla, donde se muestra el resumen de consistencias.

Porcentaje de cáscara de huevo	d inicial (cm)	d prom (cm)	I.C. (%)
0%	25	30.37	21.47
5%	25	37.83	51.33
10%	25	29.75	19.00
15%	25	37.33	49.33
20%	25	32.97	31.87

6. Consistencia con cemento tipo IP (Ver Página 83)

a) Para 0% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	30.0 cm		d(4) = 29.5 cm
d(2) =	31.0 cm		d(5) = 28.5 cm
d(3) =	30.5 cm		d(6) = 28.5 cm
d(prom) =	29.67 cm		I.C. = 18.67%

b) Para 5% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	32.0 cm		d(4) = 30.7 cm
d(2) =	32.5 cm		d(5) = 30.0 cm
d(3) =	31.0 cm		d(6) = 30.5 cm
d(prom) =	31.12 cm		I.C. = 24.47%

c) Para 10% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	34.0 cm		d(4) = 32.2 cm
d(2) =	32.0 cm		d(5) = 32.7 cm
d(3) =	32.0 cm		d(6) = 32.0 cm
d(prom) =	32.48 cm		I.C. = 29.93%

d) Para 15% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	32.0 cm		d(4) = 33.0 cm
d(2) =	31.0 cm		d(5) = 32.5 cm
d(3) =	31.5 cm		d(6) = 31.3 cm
d(prom) =	31.88cm		I.C. = 27.53%

e) Para 20% de CH

D(0) =	25.0 cm	Base inferior del tronco de cono	
d(1) =	29.2 cm		d(4) = 28.9 cm
d(2) =	28.8 cm		d(5) = 29.6 cm
d(3) =	29.5 cm		d(6) = 30.2 cm
d(prom) =	29.37 cm		I.C. = 17.47%

Resultando la siguiente tabla, donde se muestra el resumen de consistencias.

Porcentaje de cáscara de huevo	d inicial (cm)	d prom (cm)	I.C. (%)
0%	25	29.67	18.67
5%	25	31.12	24.47
10%	25	32.48	29.93
15%	25	31.88	27.53
20%	25	29.37	17.47

7. Tiempo de fraguado con cemento tipo I (Ver Página 80)

a) Para 0% de CH

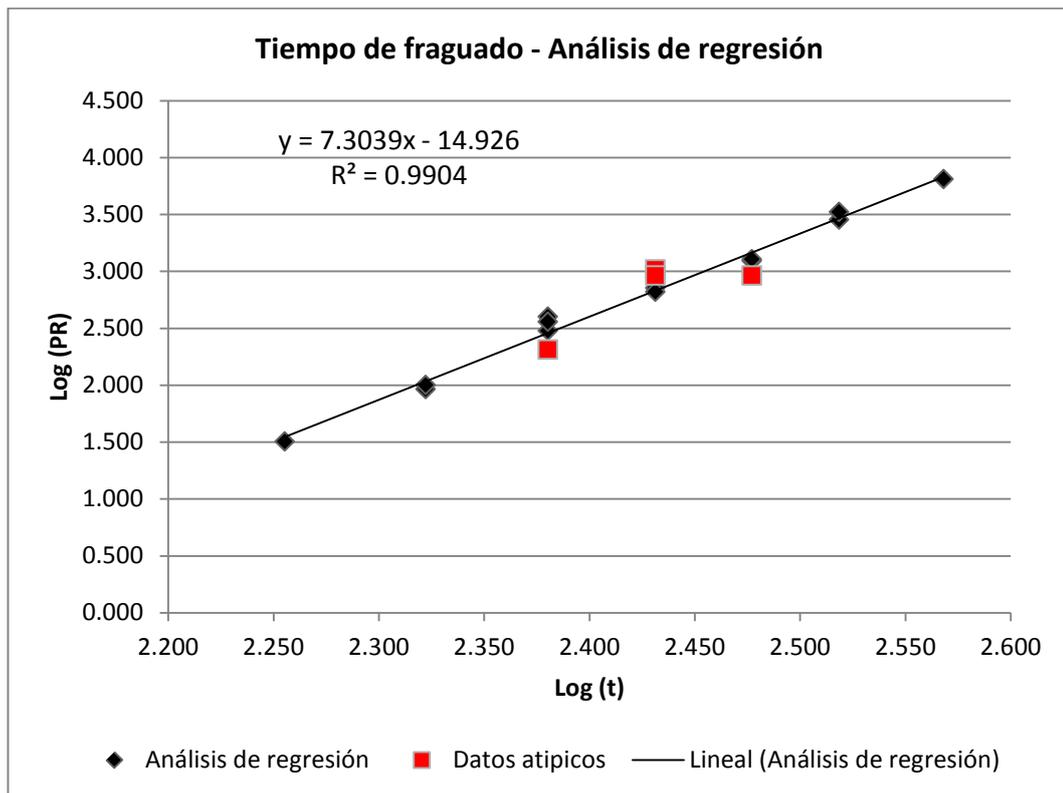
Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 21 °C

Tiempo inicial = 09:33 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)	
		Pulg ²	mm ²					
12:40	32	1	645	32	180	1.505	2.255	
13:10	92	1	645	92	210	1.964	2.322	
	50	1/2	323	100	210	2.000	2.322	
13:40	205	1	645	205	240	2.312	2.380	Dato atípico
	150	1/2	323	300	240	2.477	2.380	
	100	1/4	161	400	240	2.602	2.380	
	36	1/10	65	360	240	2.556	2.380	
14:10	178	1/4	161	712	270	2.852	2.431	
	66	1/10	65	660	270	2.820	2.431	
	52	1/20	32	1040	270	3.017	2.431	Dato atípico
	23	1/40	16	920	270	2.964	2.431	Dato atípico
14:40	124	1/10	65	1240	300	3.093	2.477	

	64	1/20	32	1280	300	3.107	2.477	Dato atípico
	23	1/40	16	920	300	2.964	2.477	
15:10	142	1/20	32	2840	330	3.453	2.519	
	83	1/40	16	3320	330	3.521	2.519	
15:50	162	1/40	16	6480	370	3.812	2.568	



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 7.3039 * \text{Log (t)} - 14.926$$

Coeficiente de correlación = 0.995 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T (\text{inicial}) = 258 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T (\text{final}) = 344 \text{ min}$$

b) Para 5% de CH

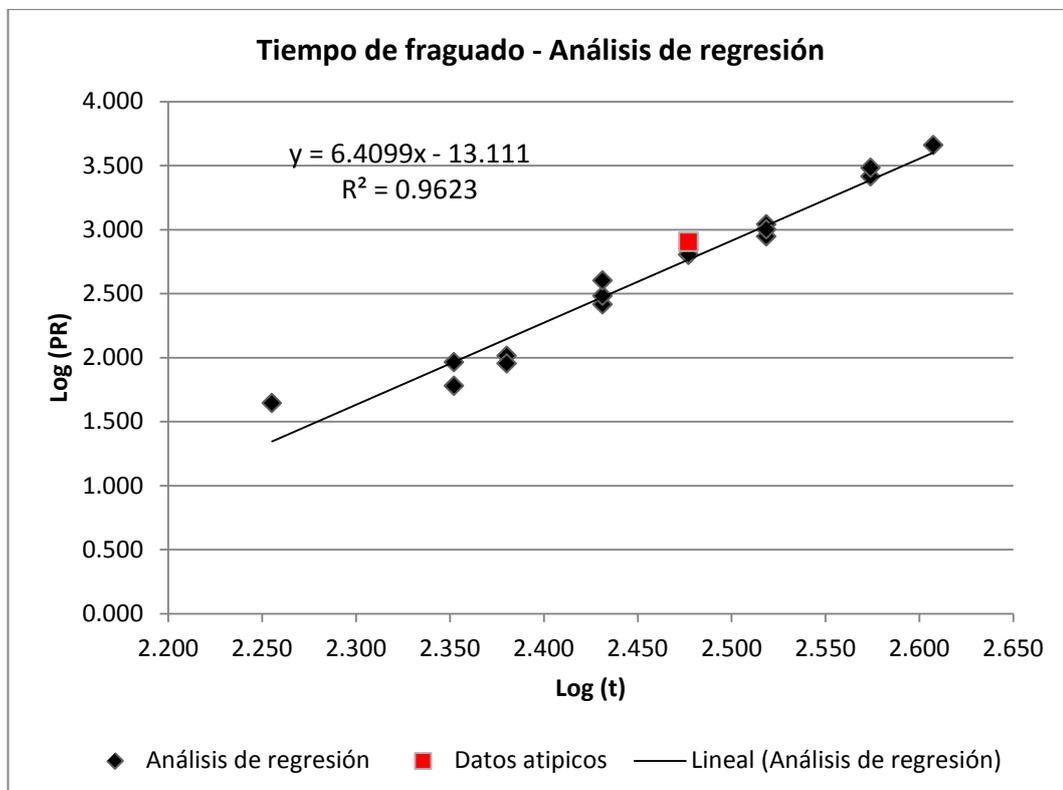
Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 22 °C

Tiempo inicial = 10:30 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
13:30	44	1	645	44	180	1.643	2.255
14:15	92	1	645	92	225	1.964	2.352
	30	1/2	323	60	225	1.778	2.352
14:30	103	1	645	103	240	2.013	2.380
	45	1/2	323	90	240	1.954	2.380
15:00	130	1/2	323	260	270	2.415	2.431
	76	1/4	161	304	270	2.483	2.431
	40	1/10	65	400	270	2.602	2.431
15:30	158	1/4	161	632	300	2.801	2.477
	64	1/10	65	640	300	2.806	2.477
	40	1/20	32	800	300	2.903	2.477
16:00	110	1/10	65	1100	330	3.041	2.519
	44	1/20	32	880	330	2.944	2.519
	25	1/40	16	1000	330	3.000	2.519
16:45	130	1/20	32	2600	375	3.415	2.574
	76	1/40	16	3040	375	3.483	2.574
17:15	114	1/40	16	4560	405	3.659	2.607

Dato atípico



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 6.4099 * \text{Log (t)} - 13.111$$

Coefficiente de correlación = 0.9809 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T \text{ (inicial)} = 292 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T \text{ (final)} = 404 \text{ min}$$

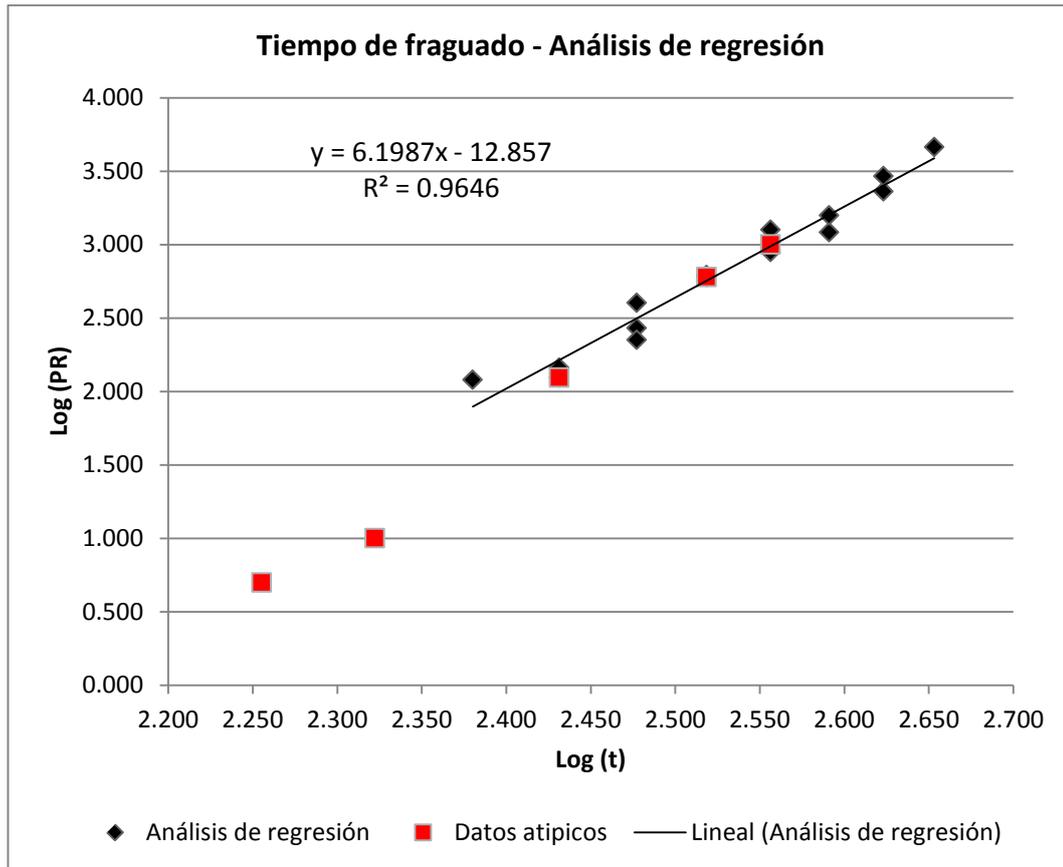
c) Para 10% de CH

Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 20 °C

Tiempo inicial = 10:55 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)	
		Pulg ²	mm ²					
13:55	5	1	645	5	180	0.699	2.255	Dato atípico
14:25	10	1	645	10	210	1.000	2.322	Dato atípico
14:55	60	1/2	323	120	240	2.079	2.380	
15:25	145	1	645	145	270	2.161	2.431	
	62	1/2	323	124	270	2.093	2.431	
	31	1/4	161	124	270	2.093	2.431	Dato atípico
15:55	135	1/2	323	270	300	2.431	2.477	
	56	1/4	161	224	300	2.350	2.477	
	40	1/10	65	400	300	2.602	2.477	
16:25	155	1/4	161	620	330	2.792	2.519	
	60	1/10	65	600	330	2.778	2.519	
	30	1/20	32	600	330	2.778	2.519	Dato atípico
16:55	89	1/10	65	890	360	2.949	2.556	
	63	1/20	32	1260	360	3.100	2.556	
	25	1/40	16	1000	360	3.000	2.556	Dato atípico
17:25	121	1/10	65	1210	390	3.083	2.591	
	79	1/20	32	1580	390	3.199	2.591	
17:55	115	1/20	32	2300	420	3.362	2.623	
	73	1/40	16	2920	420	3.465	2.623	
18:25	115	1/40	16	4600	450	3.663	2.653	



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 6.1987 * \text{Log (t)} - 12.857$$

Coefficiente de correlación = 0.9821 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T (\text{inicial}) = 323 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T (\text{final}) = 452 \text{ min}$$

d) Para 15% de CH

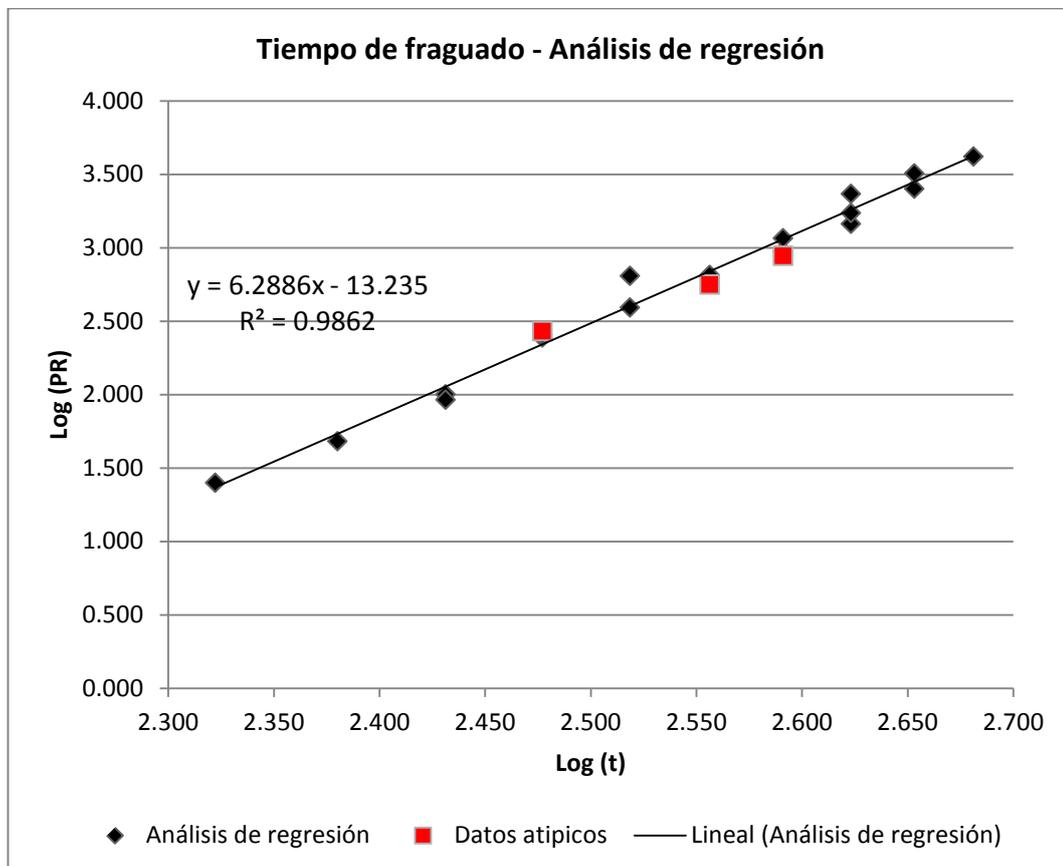
Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 22 °C

Tiempo inicial = 10:04 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
13:34	25	1	645	25	210	1.398	2.322
14:04	48	1	645	48	240	1.681	2.380

14:34	100	1	645	100	270	2.000	2.431	
	46	1/2	323	92	270	1.964	2.431	
15:04	122	1/2	323	244	300	2.387	2.477	
	64	1/4	161	256	300	2.408	2.477	
	27	1/10	65	270	300	2.431	2.477	
15:34	160	1/4	161	640	330	2.806	2.519	
	39	1/10	65	390	330	2.591	2.519	
16:04	65	1/10	65	650	360	2.813	2.556	
	28	1/20	32	560	360	2.748	2.556	
16:34	94	1/10	65	940	390	2.973	2.591	
	58	1/20	32	1160	390	3.064	2.591	
	22	1/40	16	880	390	2.944	2.591	
17:04	145	1/10	65	1450	420	3.161	2.623	
	86	1/20	32	1720	420	3.236	2.623	
	58	1/40	16	2320	420	3.365	2.623	
17:34	126	1/20	32	2520	450	3.401	2.653	
	80	1/40	16	3200	450	3.505	2.653	
18:04	104	1/40	16	4160	480	3.619	2.681	



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 6.2886 * \text{Log (t)} - 13.235$$

Coefficiente de correlación = 0.9931 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T \text{ (inicial)} = 341 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T \text{ (final)} = 475 \text{ min}$$

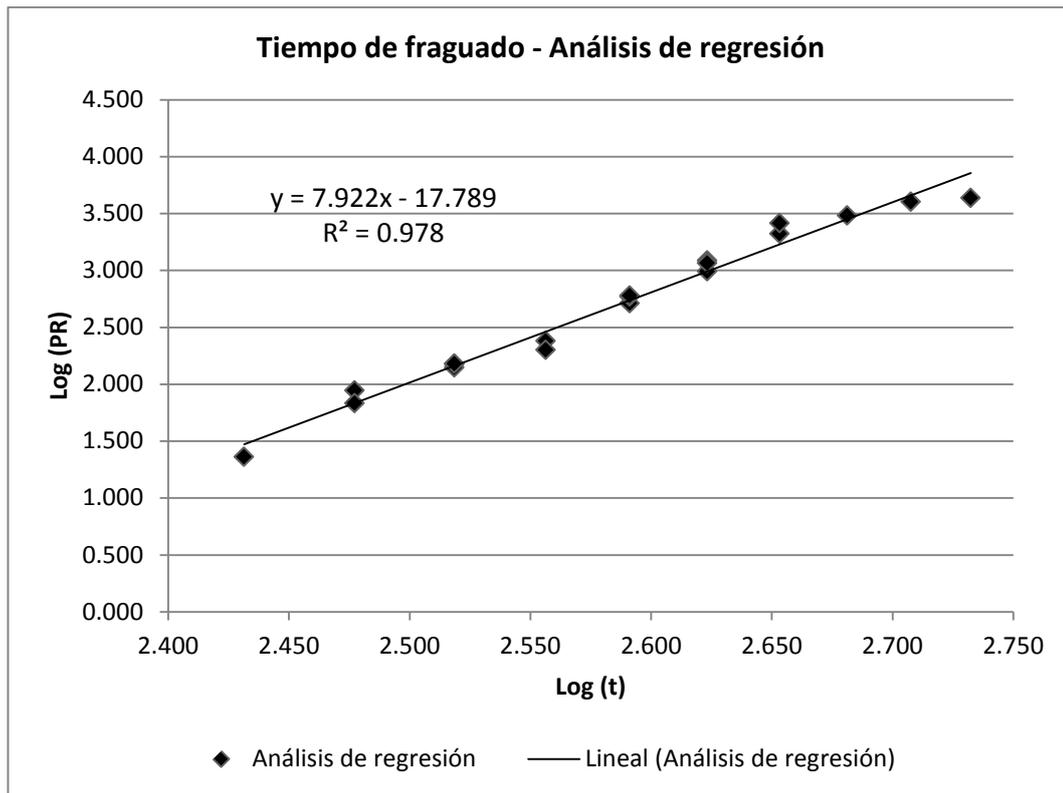
e) Para 20% de CH

Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 22 °C

Tiempo inicial = 09:55 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
14:25	23	1	645	23	270	1.362	2.431
14:55	88	1	645	88	300	1.944	2.477
	34	1/2	323	68	300	1.833	2.477
15:25	150	1	645	150	330	2.176	2.519
	70	1/2	323	140	330	2.146	2.519
	38	1/4	161	152	330	2.182	2.519
15:55	120	1/2	323	240	360	2.380	2.556
	50	1/4	161	200	360	2.301	2.556
16:25	128	1/4	161	512	390	2.709	2.591
	59	1/10	65	590	390	2.771	2.591
	30	1/20	32	600	390	2.778	2.591
16:55	122	1/10	65	1220	420	3.086	2.623
	49	1/20	32	980	420	2.991	2.623
	29	1/40	16	1160	420	3.064	2.623
17:25	105	1/20	32	2100	450	3.322	2.653
	65	1/40	16	2600	450	3.415	2.653
17:55	76	1/40	16	3040	480	3.483	2.681
18:25	100	1/40	16	4000	510	3.602	2.708
18:55	108	1/40	16	4320	540	3.635	2.732



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 7.922 * \text{Log (t)} - 17.789$$

Coeficiente de correlación = 0.9889 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T (\text{inicial}) = 385 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T (\text{final}) = 501 \text{ min}$$

8. Tiempo de fraguado con cemento tipo IP (Ver Página 84)

a) Para 0% de CH

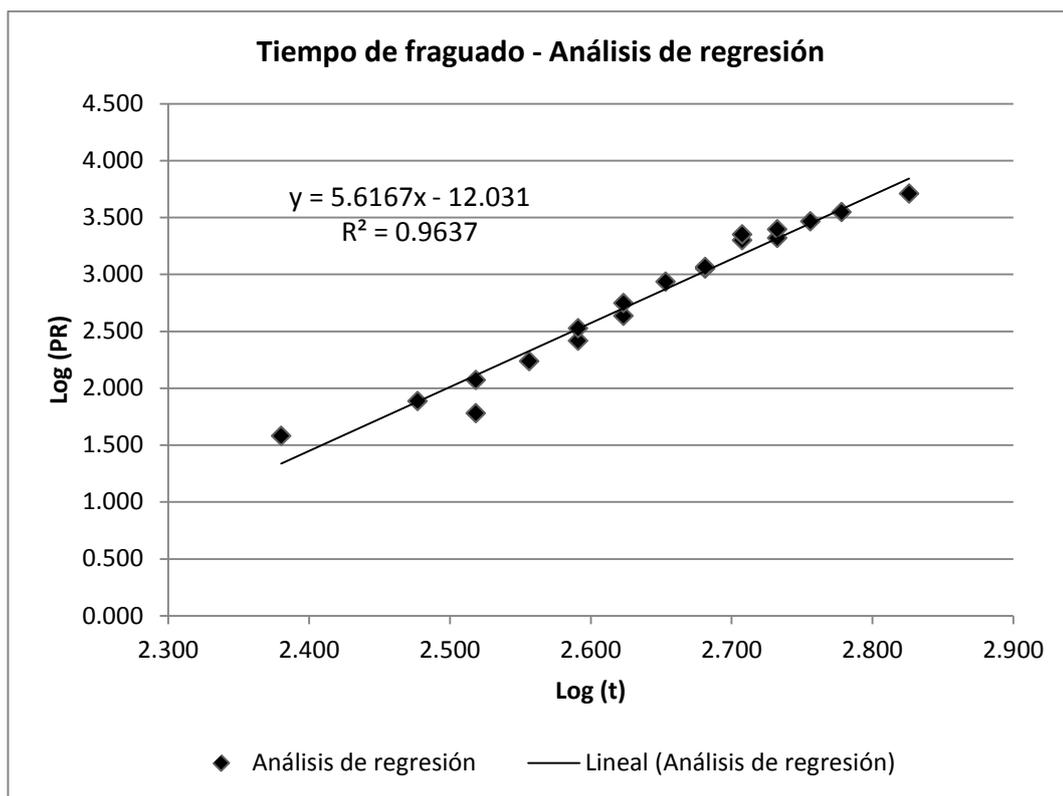
Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 18 °C

Tiempo inicial = 10:10 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
14:10	38	1	645	38	240	1.580	2.380
15:10	77	1	645	77	300	1.886	2.477
15:40	118	1	645	118	330	2.072	2.519

	30	1/2	323	60	330	1.778	2.519
16:10	86	1/2	323	172	360	2.236	2.556
16:40	130	1/2	323	260	390	2.415	2.591
	84	1/4	161	336	390	2.526	2.591
17:10	108	1/4	161	432	420	2.635	2.623
	56	1/10	65	560	420	2.748	2.623
17:40	86	1/10	65	860	450	2.934	2.653
18:10	112	1/10	65	1120	480	3.049	2.681
	58	1/20	32	1160	480	3.064	2.681
18:40	100	1/20	32	2000	510	3.301	2.708
	56	1/40	16	2240	510	3.350	2.708
19:10	104	1/20	32	2080	540	3.318	2.732
	62	1/40	16	2480	540	3.394	2.732
19:40	73	1/40	16	2920	570	3.465	2.756
20:10	88	1/40	16	3520	600	3.547	2.778
21:20	128	1/40	16	5120	670	3.709	2.826



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 5.6167 * \text{Log (t)} - 12.031$$

Coefficiente de correlación = 0.9817 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

T (inicial) = 419 min

Tiempo de fragua final (4000 psi):

T (final) = 607 min

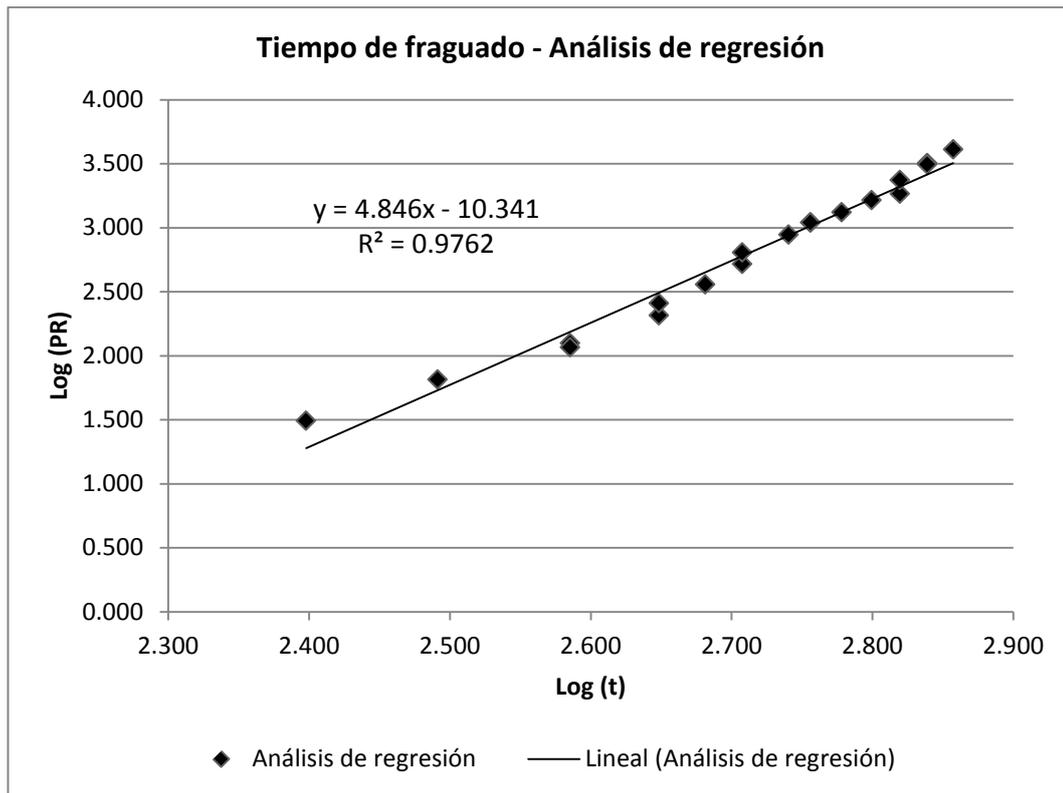
b) Para 5% de CH

Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 17 °C

Tiempo inicial = 07:45 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
11:55	31	1	645	31	250	1.491	2.398
12:55	65	1	645	65	310	1.813	2.491
14:10	125	1	645	125	385	2.097	2.585
	58	1/2	323	116	385	2.064	2.585
15:10	103	1/2	323	206	445	2.314	2.648
	64	1/4	161	256	445	2.408	2.648
15:45	90	1/4	161	360	480	2.556	2.681
16:15	130	1/4	161	520	510	2.716	2.708
	64	1/10	65	640	510	2.806	2.708
16:55	88	1/10	65	880	550	2.944	2.740
17:15	110	1/10	65	1100	570	3.041	2.756
	55	1/20	32	1100	570	3.041	2.756
17:45	66	1/20	32	1320	600	3.121	2.778
18:15	82	1/20	32	1640	630	3.215	2.799
18:45	92	1/20	32	1840	660	3.265	2.820
	59	1/40	16	2360	660	3.373	2.820
19:15	160	1/20	32	3200	690	3.505	2.839
	78	1/40	16	3120	690	3.494	2.839
19:45	102	1/40	16	4080	720	3.611	2.857



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 4.846 * \text{Log (t)} - 10.341$$

Coeficiente de correlación = 0.988 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T (\text{inicial}) = 490 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T (\text{final}) = 753 \text{ min}$$

c) Para 10% de CH

Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 18 °C

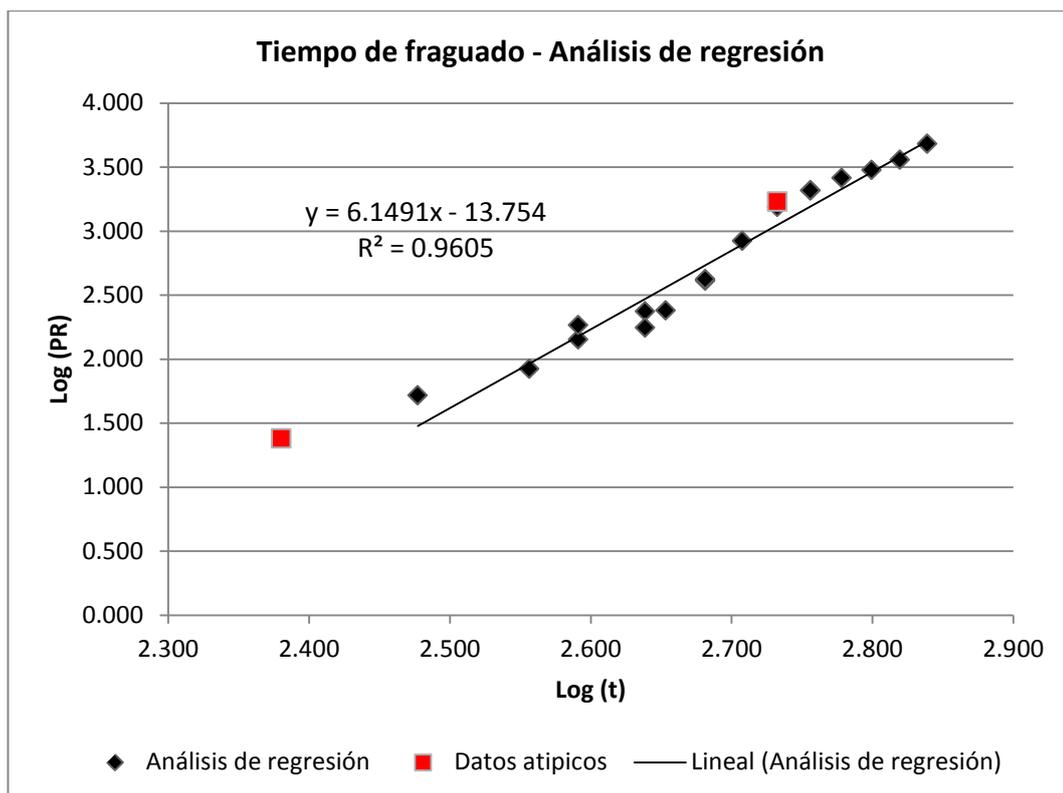
Tiempo inicial = 08:50 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
12:50	24	1	645	24	240	1.380	2.380
13:50	52	1	645	52	300	1.716	2.477
14:50	84	1	645	84	360	1.924	2.556
15:20	142	1	645	142	390	2.152	2.591

dato atípico

	92	1/2	323	184	390	2.265	2.591
16:05	118	1/2	323	236	435	2.373	2.638
	44	1/4	161	176	435	2.246	2.638
16:20	60	1/4	161	240	450	2.380	2.653
16:50	102	1/4	161	408	480	2.611	2.681
	42	1/10	65	420	480	2.623	2.681
17:20	84	1/10	65	840	510	2.924	2.708
17:50	170	1/10	65	1700	540	3.230	2.732
	77	1/20	32	1540	540	3.188	2.732
18:20	104	1/20	32	2080	570	3.318	2.756
	52	1/40	16	2080	570	3.318	2.756
18:50	65	1/40	16	2600	600	3.415	2.778
19:20	75	1/40	16	3000	630	3.477	2.799
19:50	90	1/40	16	3600	660	3.556	2.820
20:20	120	1/40	16	4800	690	3.681	2.839

dato atípico



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 6.1491 * \text{Log (t)} - 13.754$$

Coefficiente de correlación = 0.980051 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

T (inicial) = 473 min

Tiempo de fragua final (4000 psi):

T (final) = 664 min

d) Para 15% de CH

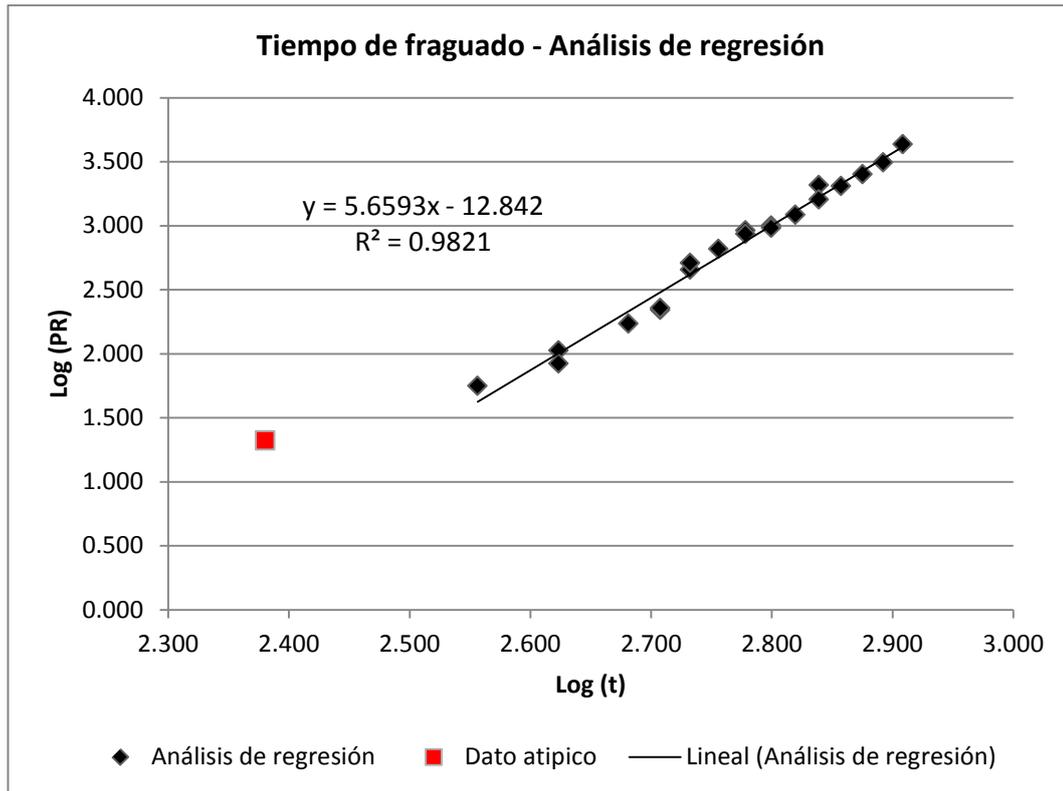
Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 17 °C

Tiempo inicial = 08:20 a.m.

Hora	Penetración carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetración (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
12:20	21	1	645	21	240	1.322	2.380
14:20	56	1	645	56	360	1.748	2.556
15:20	106	1	645	106	420	2.025	2.623
	42	1/2	323	84	420	1.924	2.623
16:20	86	1/2	323	172	480	2.236	2.681
16:50	110	1/2	323	220	510	2.342	2.708
	57	1/4	161	228	510	2.358	2.708
17:20	113	1/4	161	452	540	2.655	2.732
	51	1/10	65	510	540	2.708	2.732
17:50	66	1/10	65	660	570	2.820	2.756
18:20	92	1/10	65	920	600	2.964	2.778
	43	1/20	32	860	600	2.934	2.778
18:50	100	1/10	65	1000	630	3.000	2.799
	48	1/20	32	960	630	2.982	2.799
19:20	61	1/20	32	1220	660	3.086	2.820
19:50	104	1/20	32	2080	690	3.318	2.839
	40	1/40	16	1600	690	3.204	2.839
20:20	51	1/40	16	2040	720	3.310	2.857
20:50	63	1/40	16	2520	750	3.401	2.875
21:20	78	1/40	16	3120	780	3.494	2.892
21:50	108	1/40	16	4320	810	3.635	2.908

dato atípico



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 5.6593 * \text{Log (t)} - 12.842$$

Coeficiente de correlación = 0.991 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T (\text{inicial}) = 557 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T (\text{final}) = 804 \text{ min}$$

e) Para 20% de CH

Relación a/c = 0.55

Temperatura exterior = 16 °C

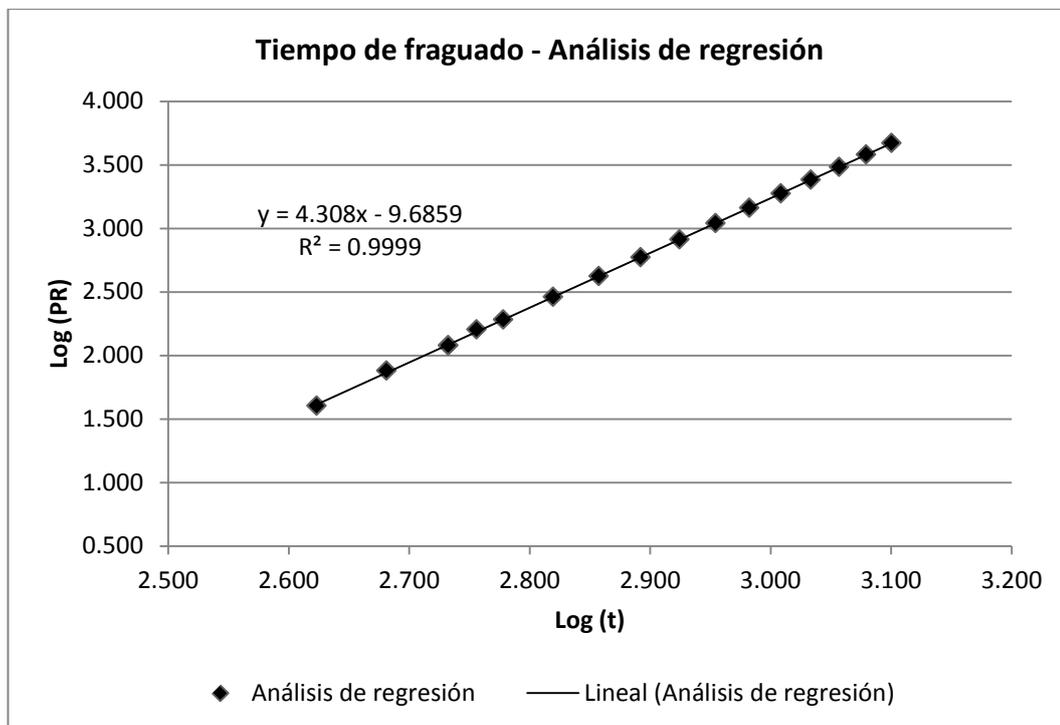
Tiempo inicial = 09:25 a.m.

Hora	Penetracion carga (LBS)	Aguja		Resist. a la penetracion (PR) (PSI)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Log (PR)	Log (t)
		Pulg ²	mm ²				
14:25	10	1	645	10	300	1.000	2.477
15:25	18	1	645	18	360	1.255	2.556
16:25	40	1	323	40	420	1.602	2.623
17:25	76	1	645	76	480	1.881	2.681
18:25	120	1	323	120	540	2.079	2.732

dato atipico

dato atipico

	60	1/2	161	120	540	2.079	2.732
18:55	80	1/2	323	160	570	2.204	2.756
19:25	96	1/2	161	191	600	2.281	2.778
20:25	72	1/4	161	288	660	2.459	2.820
21:25	105	1/4	65	419	720	2.622	2.857
22:25	59	1/10	32	592	780	2.772	2.892
23:25	82	1/10	65	815	840	2.911	2.924
00:25	110	1/10	32	1098	900	3.041	2.954
01:25	73	1/20	16	1450	960	3.161	2.982
02:25	94	1/20	32	1884	1020	3.275	3.009
03:25	121	1/20	16	2410	1080	3.382	3.033
04:25	76	1/40	16	3043	1140	3.483	3.057
05:25	95	1/40	16	3797	1200	3.579	3.079
06:25	117	1/40	16	4687	1260	3.671	3.100



Del análisis de regresión:

$$\text{Log (PR)} = 4.308 * \text{Log (t)} - 9.6859$$

Coeficiente de correlación = 0.999 > 0.98 Si cumple análisis de regresión

Tiempo de fragua inicial (500 psi):

$$T \text{ (inicial)} = 749 \text{ min}$$

Tiempo de fragua final (4000 psi):

$$T \text{ (final)} = 1214 \text{ min}$$

ANEXO B**RESULTADOS DE PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO**

1. Resistencia a la compresión usando cemento portland tipo I (Ver Página 81)

a) Para 0% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 28/03/2022
 Fecha de ensayo: 31/03/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
COI-1	10.15	13754	80.83	170.15	5
COI-2	10.19	13440	81.47	164.96	5
COI-3	10.16	12755	81.07	157.33	5

Resistencia promedio: 164.15 kg/cm²Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 21/03/2022
 Fecha de ensayo: 28/03/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
COI-1	10.00	16473	78.54	209.74	5
COI-2	10.00	17059	78.54	217.20	5
COI-3	10.04	15811	79.09	199.91	5

Resistencia promedio: 208.95 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 23/03/2022
 Fecha de ensayo: 20/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
COI-1	9.94	23755.0	77.60	306.12	5
COI-2	9.93	22936.0	77.44	296.16	5

C0I-3	9.95	24521.0	77.76	315.36	5
C0I-4	9.93	24012.0	77.44	310.06	2
C0I-5	9.96	24685.0	77.83	317.15	2
C0I-6	9.96	25412.0	77.91	326.16	2
C0I-7	9.94	23383.0	77.60	301.33	3
C0I-8	9.95	22169.2	77.76	285.11	5
C0I-9	9.94	22116.1	77.52	285.29	2

Resistencia promedio: 304.75 kg/cm²

b) Para 5% de CH

Compresión a los 3 días

3C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 04/04/2022
Fecha de ensayo: 07/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C5I-1	9.94	13142.6	77.60	169.36	2
C5I-2	9.92	13888.1	77.21	179.87	2
C5I-3	9.94	13506.6	77.52	174.23	2

Resistencia promedio: 174.49 kg/cm²

Compresión a los 7 días

7C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 04/04/2022
Fecha de ensayo: 11/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C5I-1	10.09	17076	79.96	213.56	3
C5I-2	9.97	16509	78.07	211.47	2
C5I-3	10.09	17440	79.88	218.33	3

Resistencia promedio: 214.45 kg/cm²

Compresión a los 28 días

28C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 04/04/2022
Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C5I-1	10.03	21366	78.93	270.69	2
C5I-2	9.97	20657	77.99	264.86	4
C5I-3	9.96	20581	77.83	264.42	3
C5I-4	9.96	20781	77.83	266.99	3
C5I-5	10.06	21669	79.41	272.89	1
C5I-6	9.96	21097	77.83	271.05	2
C5I-7	9.93	20564	77.44	265.53	3
C5I-8	10.06	22252	79.49	279.95	3
C5I-9	9.91	20283	77.05	263.23	3

Resistencia promedio: 268.85 kg/cm²

c) Para 10% de CH

Compresión a los 3 días

3C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 25/04/2022
Fecha de ensayo: 28/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C10I-1	10.04	12485	79.09	157.86	3
C10I-2	9.96	12514	77.91	160.62	1
C10I-3	9.97	12936	78.07	165.70	1

Resistencia promedio: 161.39 kg/cm²

Compresión a los 7 días

7C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 25/04/2022
Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C10I-1	77.60	15346	77.60	197.76	3
C10I-2	77.83	15195	77.83	195.22	2
C10I-3	77.68	14865	77.68	191.37	2

Resistencia promedio: 194.78 kg/cm²

Compresión a los 28 días

28C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 11/04/2022
Fecha de ensayo: 09/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C10I-1	10.04	18857	79.09	238.42	2
C10I-2	9.97	20366	78.07	260.87	5
C10I-3	10.01	20509	78.62	260.87	2
C10I-4	10.06	19068	79.41	240.13	2
C10I-5	10.08	18663	79.72	234.10	6
C10I-6	10.05	19949	79.25	251.73	2
C10I-7	10.08	20565	79.80	257.70	2
C10I-8	9.98	19598	78.23	250.53	5
C10I-9	9.97	19844	77.99	254.44	5

Resistencia promedio: 249.87 kg/cm²

d) Para 15% de CH

Compresión a los 3 días

3C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 25/04/2022
Fecha de ensayo: 28/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C15I-1	10.06	11691	79.49	147.08	2
C15I-2	10.13	11666	80.60	144.75	5
C15I-3	10.14	11636	80.67	144.23	5

Resistencia promedio: 145.36 kg/cm²

Compresión a los 7 días

7C

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 25/04/2022
Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C15I-1	10.01	14166	78.70	180.00	3
C15I-2	10.03	14277	79.01	180.70	2
C15I-3	10.09	14795	79.96	185.03	5

Resistencia promedio: 181.91 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 11/04/2022
 Fecha de ensayo: 09/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C15I-1	9.94	15144	77.60	195.15	2
C15I-2	9.94	14764	77.60	190.26	2
C15I-3	9.94	15304	77.60	197.22	3
C15I-4	9.97	16260	78.07	208.28	3
C15I-5	9.98	16056	78.23	205.25	6
C15I-6	9.96	14839	77.83	190.65	2
C15I-7	9.97	15622	77.99	200.31	3
C15I-8	9.97	15864	78.07	203.20	5
C15I-9	9.96	15088	77.91	193.65	2

Resistencia promedio: 198.22 kg/cm²

e) Para 20% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 26/04/2022
 Fecha de ensayo: 29/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C20I-1	10.02	9396	78.78	119.28	2
C20I-2	9.99	9558	78.30	122.06	5
C20I-3	10.06	9786	79.49	123.12	3

Resistencia promedio: 121.49 kg/cm²

Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 26/06/2022
Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C20I-1	9.90	11395	76.98	148.03	2
C20I-2	9.94	11544	77.52	148.91	5
C20I-3	10.00	11830	78.54	150.62	2

Resistencia promedio: 149.19 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 28/03/2022
Fecha de ensayo: 31/03/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C20I-1	10.01	13359	78.70	169.75	2
C20I-2	9.98	13292	78.15	170.09	3
C20I-3	10.06	14164	79.49	178.20	2
C20I-4	10.00	14012	78.54	178.41	2
C20I-5	10.02	13321	78.85	168.93	5
C20I-6	10.03	13496	79.01	170.81	2
C20I-7	9.97	12928	78.07	165.60	2
C20I-8	10.00	13108	78.54	166.90	3
C20I-9	10.06	13490	79.49	169.72	3

Resistencia promedio: 170.93 kg/cm²

2. Resistencia a la compresión usando cemento portland tipo IP (Ver Página 85)

a) Para 0% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 16/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C0IP-1	9.90	6250	76.98	81.19	5
C0IP-2	9.95	6384	77.76	82.10	6
C0IP-3	9.94	6536	77.60	84.23	6

Resistencia promedio: 82.51 kg/cm²Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C0IP-1	9.98	9553	78.23	122.12	6
C0IP-2	9.97	9882	77.99	126.71	5
C0IP-3	9.99	9400	78.30	120.04	6

Resistencia promedio: 122.96 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 09/05/2022
 Fecha de ensayo: 06/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C0IP-1	9.94	15719	77.60	202.56	2
C0IP-2	9.94	16661	77.52	214.92	5
C0IP-3	9.95	16960	77.76	218.12	5
C0IP-4	9.94	16572	77.52	213.77	2

C0IP-5	9.94	16467	77.60	212.20	3
C0IP-6	9.96	15987	77.91	205.19	1
C0IP-7	9.93	17173	77.37	221.97	2
C0IP-8	9.94	15798	77.52	203.79	2
C0IP-9	9.93	17091	77.44	220.69	2

Resistencia promedio: 212.58 kg/cm²

b) Para 5% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 16/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C5IP-1	9.98	9138	78.15	116.93	2
C5IP-2	10.00	9171	78.54	116.77	5
C5IP-3	10.00	9176	78.54	116.83	2

Resistencia promedio: 116.84 kg/cm²Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C5IP-1	10.02	11605	78.85	147.17	2
C5IP-2	10.02	11832	78.85	150.05	2
C5IP-3	10.01	11385	78.62	144.81	2

Resistencia promedio: 147.34 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 09/05/2022
 Fecha de ensayo: 06/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C5IP-1	10.22	14928	81.95	182.15	2
C5IP-2	10.16	15280	81.07	188.47	3
C5IP-3	9.98	14885	78.23	190.28	6
C5IP-4	9.96	14151	77.91	181.63	2
C5IP-5	9.98	14288	78.23	182.65	6
C5IP-6	9.98	14260	78.15	182.48	2
C5IP-7	10.14	14452	80.67	179.14	5
C5IP-8	9.95	13235	77.76	170.21	5
C5IP-9	10.14	13967	80.67	173.13	2

Resistencia promedio: 181.13 kg/cm²

c) Para 10% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 16/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C10IP-1	9.95	6433	77.76	82.73	2
C10IP-2	10.14	6012	80.75	74.45	2
C10IP-3	9.99	6171	78.30	78.81	6

Resistencia promedio: 78.66 kg/cm²Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C10IP-1	10.14	9536	80.67	118.20	2
C10IP-2	9.98	9405	78.15	120.35	5
C10IP-3	10.14	9318	80.75	115.39	6

Resistencia promedio: 117.98 kg/cm²

Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 09/05/2022
Fecha de ensayo: 06/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C10IP-1	9.96	12774	77.83	164.12	2
C10IP-2	9.98	13243	78.23	169.29	6
C10IP-3	10.08	12704	79.80	159.20	2
C10IP-4	9.98	12993	78.23	166.10	5
C10IP-5	10.03	12992	78.93	164.60	2
C10IP-6	9.98	12326	78.23	157.57	2
C10IP-7	9.95	12822	77.76	164.90	6
C10IP-8	9.96	13054	77.91	167.55	5
C10IP-9	10.01	13188	78.70	167.58	6

Resistencia promedio: 164.54 kg/cm²

d) Para 15% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 09/05/2022
Fecha de ensayo: 06/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C15IP-1	10.06	5985	79.49	75.30	6
C15IP-2	10.00	5947	78.46	75.80	6
C15IP-3	10.04	6155	79.09	77.82	1

Resistencia promedio: 76.30 kg/cm²Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 17/05/2022
Fecha de ensayo: 24/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C15IP-1	10.00	8072	78.54	102.78	2
C15IP-2	10.01	7882	78.62	100.26	2
C15IP-3	10.11	8130	80.20	101.37	6

Resistencia promedio: 101.47 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 11/05/2022
 Fecha de ensayo: 08/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C15IP-1	9.98	10540	78.15	134.87	5
C15IP-2	10.00	11248	78.54	143.21	5
C15IP-3	9.98	11040	78.23	141.13	5
C15IP-4	10.19	12106	81.55	148.44	5
C15IP-5	9.96	11048	77.91	141.80	6
C15IP-6	9.96	10567	77.91	135.63	5
C15IP-7	10.16	11920	81.07	147.03	5
C15IP-8	9.99	10461	78.30	133.59	5
C15IP-9	10.03	11790	79.01	149.22	5

Resistencia promedio: 141.66 kg/cm²

e) Para 20% de CH

Compresión a los 3 días**3C**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 17/05/2022
 Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C20IP-1	10.05	4900	79.33	61.77	2
C20IP-2	10.00	5150	78.54	65.57	3
C20IP-3	10.17	5247	81.15	64.66	5

Resistencia promedio: 64.00 kg/cm²

Compresión a los 7 días**7C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 17/05/2022
Fecha de ensayo: 24/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C20IP-1	10.18	8122	81.39	99.79	5
C20IP-2	10.18	7699	81.39	94.59	6
C20IP-3	10.00	7387	78.54	94.05	6

Resistencia promedio: 96.14 kg/cm²Compresión a los 28 días**28C**

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 11/05/2022
Fecha de ensayo: 08/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de fractura
C20IP-1	9.94	8941	77.60	115.22	6
C20IP-2	10.00	9650	78.46	122.99	6
C20IP-3	9.96	8979	77.91	115.24	2
C20IP-4	9.97	10049	77.99	128.85	5
C20IP-5	10.00	9521	78.54	121.23	6
C20IP-6	10.00	9783	78.46	124.69	5
C20IP-7	9.96	10032	77.91	128.76	6
C20IP-8	10.00	9703	78.54	123.54	6
C20IP-9	9.92	9057	77.21	117.30	5

Resistencia promedio: 121.98 kg/cm²

3. Resistencia a la tracción por compresión diametral usando cemento portland tipo I (Ver Página 82)

a) Para 0% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 24/03/2022
Fecha de ensayo: 31/03/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C0I-1	10.25	9344	20.72	28.02
C0I-2	10.15	8179	20.78	24.69
C0I-3	10.13	8550	20.76	25.88

Resistencia promedio: 26.20 kg/cm²Tracción a los 28 días

28T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 24/03/2022
Fecha de ensayo: 21/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C0I-1	9.94	8966.3	20.61	27.87
C0I-2	9.92	9042.3	20.57	28.22
C0I-3	9.95	8704.8	20.66	26.97

Resistencia promedio: 27.69 kg/cm²

b) Para 5% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 04/04/2022
Fecha de ensayo: 11/04/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C5I-1	9.93	6463	20.61	20.10
C5I-2	9.92	7145	20.58	22.29

C5I-3	9.94	6543	20.56	20.39
-------	------	------	-------	-------

Resistencia promedio: 20.93 kg/cm²Tracción a los 28 días**28T**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 04/04/2022
 Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C5I-1	10.12	9987	20.75	30.29
C5I-2	10.15	8743	20.72	26.47
C5I-3	10.14	9603	20.72	29.11

Resistencia promedio: 28.63 kg/cm²

c) Para 10% de CH

Tracción a los 7 días**7T**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 25/04/2022
 Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C10I-1	9.94	8188	20.71	25.32
C10I-2	9.94	8149	20.65	25.27
C10I-3	9.92	8357	20.66	25.97

Resistencia promedio: 25.52 kg/cm²Tracción a los 28 días**28T**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 11/04/2022
 Fecha de ensayo: 09/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C10I-1	10.13	8234.3	20.64	25.08
C10I-2	10.22	9165.8	20.67	27.63
C10I-3	10.17	9240.2	20.72	27.92

Resistencia promedio: 26.88 kg/cm²

d) Para 15% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 25/04/2022
Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C15I-1	9.96	7116	20.60	22.08
C15I-2	9.97	7369	20.62	22.82
C15I-3	10.14	7759	20.78	23.44

Resistencia promedio: 22.78 kg/cm²Tracción a los 28 días

28T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 11/04/2022
Fecha de ensayo: 09/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C15I-1	9.90	8951.2	20.64	27.89
C15I-2	9.97	8239.3	20.67	25.45
C15I-3	9.96	7310.9	20.67	22.61

Resistencia promedio: 25.32 kg/cm²

e) Para 20% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 26/04/2022
Fecha de ensayo: 03/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C20I-1	9.99	6715	20.50	20.88
C20I-2	9.93	6473	20.62	20.14
C20I-3	9.94	6925	20.61	21.52

Resistencia promedio: 20.85 kg/cm²

Tracción a los 28 días

28T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 12/04/2022
Fecha de ensayo: 10/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C20I-1	10.04	7524	20.70	23.06
C20I-2	9.98	7683	20.60	23.80
C20I-3	10.01	6946	20.30	21.77

Resistencia promedio: 22.88 kg/cm²

4. Resistencia a la tracción por compresión diametral usando cemento portland tipo IP (Ver Página 85)

a) Para 0% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 13/05/2022
Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C0IP-1	10.00	4480	20.58	13.86
C0IP-2	9.98	4120	20.62	12.75
C0IP-3	9.99	4036	20.65	12.46

Resistencia promedio: 13.02 kg/cm²Tracción a los 28 días

28T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 17/05/2022
Fecha de ensayo: 24/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C0IP-1	9.90	6443	20.68	20.04
C0IP-2	9.94	6408	20.71	19.82
C0IP-3	9.94	6334	20.73	19.57

Resistencia promedio: 19.81 kg/cm²

b) Para 5% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 13/05/2022
Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C5IP-1	10.01	5274	20.52	16.35
C5IP-2	10.02	5091	20.53	15.76

C5IP-3	10.02	4700	20.63	14.48
--------	-------	------	-------	-------

Resistencia promedio: 15.53 kg/cm²Tracción a los 28 días**28T**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 09/05/2022
 Fecha de ensayo: 06/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C5IP-1	10.02	7253	20.53	22.45
C5IP-2	10.16	7495	20.72	22.67
C5IP-3	10.14	7335	20.68	22.28

Resistencia promedio: 22.47 kg/cm²

c) Para 10% de CH

Tracción a los 7 días**7T**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 13/05/2022
 Fecha de ensayo: 20/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C10IP-1	10.01	3380	20.40	10.54
C10IP-2	10.00	3620	20.55	11.22
C10IP-3	10.02	3540	20.25	11.11

Resistencia promedio: 10.96 kg/cm²Tracción a los 28 días**28T**

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 09/05/2022
 Fecha de ensayo: 06/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C10IP-1	9.99	4070	20.32	12.76
C10IP-2	9.99	4211	20.57	13.05
C10IP-3	10.03	4309	20.73	13.20

Resistencia promedio: 13.00 kg/cm²

d) Para 15% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 17/05/2022
 Fecha de ensayo: 24/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C15IP-1	9.99	3610	20.64	11.15
C15IP-2	10.03	3730	20.38	11.62
C15IP-3	10.04	3700	20.28	11.58

Resistencia promedio: 11.45 kg/cm²Tracción a los 28 días

28T

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 11/05/2022
 Fecha de ensayo: 08/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C15IP-1	9.97	6760	20.55	21.01
C15IP-2	9.95	6608	20.52	20.61
C15IP-3	9.96	5980	20.54	18.61

Resistencia promedio: 20.08 kg/cm²

e) Para 20% de CH

Tracción a los 7 días

7T

Relación a/c: 0.55
 Fecha de obtención: 17/05/2022
 Fecha de ensayo: 24/05/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C20IP-1	10.03	3050	20.60	9.40
C20IP-2	10.01	3210	20.63	9.90
C20IP-3	10.17	3620	20.73	10.93

Resistencia promedio: 10.08 kg/cm²

Tracción a los 28 días

28T

Relación a/c: 0.55
Fecha de obtención: 11/05/2022
Fecha de ensayo: 08/06/2022

Probeta	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Longitud (cm)	Resistencia (kg/cm ²)
C20IP-1	9.97	6155	20.54	19.14
C20IP-2	9.95	6437	20.55	20.05
C20IP-3	10.00	4900	20.29	15.38

Resistencia promedio: 18.19 kg/cm²

ANEXO C

RESULTADOS DE ENSAYO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**INFORME TÉCNICO N° 0310 – 22 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : IVÁN DANIEL CONDORI MAMANI
 - 1.2 DNI : 71400853
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 28 / 03 / 2022
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 29 / 03 / 2022
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 31 / 03 / 2022
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 23.5°C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA. SHIMADZU, EDX 800HS.
8. **RESULTADOS**
 - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ⁽¹⁾	MÉTODO UTILIZADO
Calcio, Ca	98.604	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽²⁾
Estroncio, Sr	0.699	
Potasio, K	0.375	
Azúfre, S	0.255	
Fósforo, P	0.068	

⁽¹⁾ Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.

8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ^(1,2)	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	97.103	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ⁽³⁾
Óxido de potasio, K ₂ O	2.067	
Óxido de estroncio, SrO	0.563	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.205	
Óxido de azufre, SO ₃	0.061	

⁽¹⁾ Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

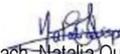
⁽²⁾ Resultados expresados en óxidos según pedido del solicitante.

⁽³⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.



9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Natalia Quispe G.
Analista
LABICER -UNI




M.Sc. Ily Mariú Maza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO

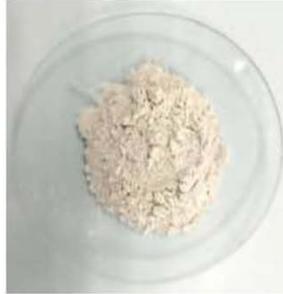


FIGURA N°1. MUESTRA DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO



FIGURA N°2. ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA.



ANEXO D

PANEL FOTOGRÁFICO

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Secado al aire de cáscaras de huevo	172
Fotografía 2: Triturado de la cáscara de huevo usando rodillo de madera	172
Fotografía 3: Tamizado de cáscara de huevo usando colador casero	173
Fotografía 4: Molino manual para obtener polvo de cáscara de huevo	173
Fotografía 5: Cementos utilizados en la tesis de investigación	174
Fotografía 6: Ensayo de granulometría de agregado grueso	174
Fotografía 7: Ensayo de granulometría de agregado fino	175
Fotografía 8: Ensayo de peso específico de agregado grueso.....	175
Fotografía 9: Ensayo de peso específico de agregado fino.....	176
Fotografía 10: Preparación de mezcladora	176
Fotografía 11: Ensayo de asentamiento del concreto	177
Fotografía 12: Ensayo de consistencia del concreto	177
Fotografía 13: Ensayo de peso unitario del concreto	178
Fotografía 14: Tamizado de concreto para ensayo de tiempo de fragua.....	178
Fotografía 15: Ensayo de tiempo de fragua	179
Fotografía 16: Moldes de probetas de concreto	179
Fotografía 17: Pozo de curado.....	180
Fotografía 18: Área de trabajo para ensayos de resistencia (LEM).....	180
Fotografía 19: Ensayo de resistencia a la compresión	181
Fotografía 20: Muestras de probetas ya ensayadas	181



Fotografía 1: Secado al aire de cáscaras de huevo



Fotografía 2: Triturado de la cáscara de huevo usando rodillo de madera



Fotografía 3: Tamizado de cáscara de huevo usando colador casero



Fotografía 4: Molino manual para obtener polvo de cáscara de huevo



Fotografía 5: Cementos utilizados en la tesis de investigación



Fotografía 6: Ensayo de granulometría de agregado grueso



Fotografía 7: Ensayo de granulometría de agregado fino



Fotografía 8: Ensayo de peso específico de agregado grueso



Fotografía 9: Ensayo de peso específico de agregado fino



Fotografía 10: Preparación de mezcladora



Fotografía 11: Ensayo de asentamiento del concreto



Fotografía 12: Ensayo de consistencia del concreto



Fotografía 13: Ensayo de peso unitario del concreto



Fotografía 14: Tamizado de concreto para ensayo de tiempo de fragua



Fotografía 15: Ensayo de tiempo de fragua



Fotografía 16: Moldes de probetas de concreto



Fotografía 17: Pozo de curado



Fotografía 18: Área de trabajo para ensayos de resistencia (LEM)



Fotografía 19: Ensayo de resistencia a la compresión



Fotografía 20: Muestras de probetas ya ensayadas