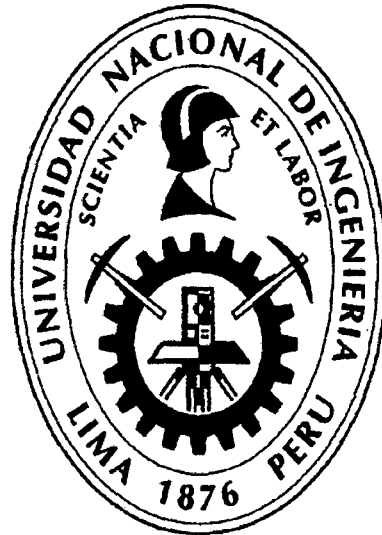


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL
CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND
CON MICROFILLER CALIZO**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

PERCY ENRIQUE BERNABLE FERNÁNDEZ

Lima- Perú

2012

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

En recuerdo a mi madre Nicolaza quién me oriento en mi carrera y a quién dedico la elaboración de esta tesis.

A mi padre Walter la persona que más admiro y quiero.

A mis hermanos Carlos, Nancy y sobrinas Rocío y Nicole, por su compañía y afecto.

A la UNI.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi asesora Ing. Isabel Moromi Nakata, por su apoyo y orientación en la elaboración de la presente tesis.

Al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI por su colaboración, así como a las personas que me apoyaron en los ensayos.

	Pág.
ÍNDICE	
RESUMEN	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE GRÁFICOS	10
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	14
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I: GENERALIDADES DEL CEMENTO PORTLAND Y LAS ADICIONES MINERALES	17
1.1 CEMENTO PORTLAND	17
1.1.1 DEFINICIÓN	17
1.1.2 Tipos de cemento	17
1.1.3 Clasificación del cemento portland estándar	18
1.1.4 Clasificación del cemento portland adicionados	18
1.1.5 Cementos portland. especificación de la performance	20
1.2 ADICIONES MINERALES	20
1.2.1 Definición	20
1.2.2 Clasificación de adiciones minerales	21
1.2.3 Ventajas	22
1.2.4 Puzolana	23
1.2.5 Escoria de alto horno	23
1.2.6 Filler calcáreo	24
1.3 CEMENTOS EN EL PERÚ	24
1.4 NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO	25
1.5 CAPACIDAD INSTALADA DE LA EMPRESAS CEMENTERAS	26
CAPITULO II: CALIZA	27
2.1 DEFINICIÓN	27
2.2 OBTENCIÓN DE LA CALIZA	27
2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA CALIZA	28
2.4 PRINCIPALES PRODUCTOS DERIVADOS DE LA CALIZA	29
2.5 CARBONATO DE CALCIO	29

CAPITULO III: GENERALIDADES SOBRE LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND CON MICROFILLER CALIZO	31	
3.1	DEFINICIÓN Y NORMATIVA PERUANA	31
3.2	FILLER	31
3.3	FILLER CALIZO	32
3.3.1	Definición	32
3.3.2	Especificación de composición del filler calizo	32
3.4	MICROFILLER CALIZO	34
3.5	CINÉTICA DE HIDRATACIÓN	35
3.5.1	Propiedades reológicas	35
3.5.2	Mecanismo de hidratación	36
3.6	MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS	37
3.7	PROCESO DE FABRICACIÓN	38
CAPITULO IV: PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND CON MICROFILLER CALIZO	41	
4.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA	41
4.1.1	Componentes químicos	41
4.1.2	Compuestos químicos	41
4.1.3	Propiedades de los compuestos principales	42
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS	43
4.3	REQUISITOS TÉCNICOS DEL CEMENTO PORTLAND CON MICROFILLER CALIZO	44
4.4	DURABILIDAD	45
4.4.1	Contracción del concreto	45
4.4.2	Propagación de fisuras	46
4.4.3	Carbonatación	46
4.4.4	Resistencia al agua de mar	47
4.4.5	Resistencia a los sulfatos	47
4.4.6	Resistencia a ciclos de congelación y deshielo	48
4.4.7	Difusión de iones cloruro	48
CAPITULO V: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A USAR EN EL CONCRETO	50	
5.1	AGREGADOS	50

5.1.1	Propiedades físicas	50
5.1.2	Resumen de propiedades de los agregados	57
5.2	CEMENTO	59
5.3	AGUA	61
CAPITULO VI: DISEÑO DE MEZCLAS		63
6.1	GENERALIDADES	63
6.1.1	Parámetros para el diseño de mezclas	63
6.1.2	Agregado global	64
6.2	DISEÑO DE MEZCLAS PATRÓN	67
6.2.1	Proporción del concreto patrón	69
CAPITULO VII: PROPIEDADES DEL CONCRETO		71
7.1	PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO	71
7.1.1	Consistencia	71
7.1.2	Peso unitario	71
7.1.3	Contenido de aire	73
7.1.4	Fluidez	74
7.1.5	Exudación	75
7.1.6	Tiempo de fraguado	77
7.1.7	Ph del concreto	78
7.1.8	Temperatura de la mezcla del concreto	80
7.2	PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO	81 83
7.2.1	Resistencia a la compresión	83
7.2.2	Resistencia a la tracción por compresión diametral	86
7.2.3	Resistencia a la flexión	88
7.2.4	Porcentaje de absorción del concreto	91
CAPITULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS		93
8.1	DE LOS AGREGADOS	93
8.2	DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	93
8.2.1	Consistencia	93
8.2.2	Peso unitario	95
8.2.3	Contenido de aire	96

8.2.4	Fluidez	98
8.2.5	Exudación	99
8.2.6	Tiempo de fraguado	100
8.2.7	Ph del concreto	103
8.2.8	Temperatura de la mezcla del concreto	104
8.3	DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	107
8.3.1	Resistencia a la compresión	107
8.3.2	Resistencia a la tracción por compresión diametral	115
8.3.3	Resistencia a la flexión	117
8.3.4	Porcentaje de absorción del concreto	122
	CONCLUSIONES	125
	RECOMENDACIONES	129
	BIBLIOGRAFÍA	131
	ANEXOS	133

RESUMEN

La presente tesis, muestra los resultados de una investigación sobre la calidad del concreto en su estado fresco y endurecido usando un Cemento Portland con microfiller calizo. Para tal fin se utilizó el Cemento Portland tipo ICo de la marca Inka, cuya composición es la siguiente: 83% de Clinker, 7% de Yeso y 10% de Filler Calizo, este 10% no ingresa al horno a ser sometido a los 1450°C y por lo tanto no se elimina el CO₂, contribuyendo con esto al medio ambiente.

Como referente de comparación de los resultados obtenidos con el Cemento Portland con microfiller calizo se utilizó el Cemento Portland Tipo I de la marca Sol. Los factores de estudio en la presente tesis fueron: la relación agua/cemento y el tipo de cemento utilizado. Se emplearon tres relaciones a/c: 0.45, 0.55 y 0.60, para los dos tipos de cemento y se prepararon sus respectivos diseños de mezcla. El concreto se diseñó con una trabajabilidad media (slump de 3" a 4"). Para cada diseño se evaluó el asentamiento, la consistencia, contenido de aire, peso unitario, fluidez, exudación, tiempo de fragua, temperatura interna, pH, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral y resistencia a la flexión.

Los resultados de este trabajo indican que la utilización de Cemento Portland con microfiller calizo implica la obtención de concretos que en estado fresco presentan muy buena trabajabilidad, plasticidad, y terminación superficial a partir de los finos aportados por el microfiller calizo.

En estado endurecido, las mezclas con Cemento Portland con microfiller calizo presentan mayor resistencia inicial en las primeras edades, mientras que su resistencia a los 28 días es menor respecto al Cemento Portland Tipo I.

Se encontró que existe una mayor sensibilidad de "variación de comportamiento" en la "resistencia a la compresión vs la relación a/c" por parte de las mezclas de concreto preparados con Cemento Portland con microfiller calizo, es decir, la resistencia a la compresión cambia más rápido al variar la relación a/c de la mezcla en comparación con mezclas de concreto preparados con Cemento Portland tipo I, lo cual señala la necesidad de una dosificación cuidadosa en tal sentido.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1.1: Capacidad instalada de las empresas cementeras en el Perú.	26
Cuadro 2.1: Características físicas de la Caliza.	28
Cuadro 2.2: Tipos de caliza y variables de calificación con sus leyes de tolerancia.	28
Cuadro 3.1: Especificación de composición del filler calizo.	33
Cuadro 3.2: Criterio químico para diferenciar las calizas.	34
Cuadro 3.3: Materias primas empleadas en la fabricación de Cemento.	37
Cuadro 4.1: Componentes Químicos del Cementos Portland de producción nacional.	41
Cuadro 4.2: Compuestos Químicos del Cementos Portland de producción nacional.	41
Cuadro 4.3: Requisitos químicos y físicos del Cemento Inka tipo ICo.	45
Cuadro 5.1: Límites granulométricos del agregado fino.	54
Cuadro 5.2: Límites granulométricos del agregado grueso.	55
Cuadro 5.3: Límites granulométricos del agregado global.	56
Cuadro 5.4: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino.	57
Cuadro 5.5: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso.	58
Cuadro 5.6: Resumen de las propiedades físicas del agregado global.	59
Cuadro 5.7: Especificaciones técnicas del Cemento Inka tipo ICo.	59
Cuadro 5.8: Especificaciones técnicas del Cemento Sol tipo I.	60
Cuadro 5.9: Requisitos para agua de mezcla y curado.	62
Cuadro 6.1: Resultados de ensayo de compacidad.	64
Cuadro 6.2: Asentamiento dado por cantidad de agua para diseño de mezcla $a/c=0.55$.	65
Cuadro 6.3: Ensayo a compresión para los porcentajes de agregado.	66
Cuadro 6.4: Cantidad de agua requerida según a/c para los diseños	67
Cuadro 6.5: Cantidad de agua requerida según a/c para slump 3.5".	68
Cuadro 6.6: Diseños de mezcla patrón según a/c con Cemento Inka tipo ICo.	69

Cuadro 6.7: Diseños de mezcla patrón según a/c con Cemento Sol tipo I.	70
Cuadro 7.1: Resumen del ensayo de Asentamiento normal del Concreto.	72
Cuadro 7.2: Resumen del ensayo de Peso Unitario del Concreto.	73
Cuadro 7.3: Resumen del ensayo de Contenido de Aire del Concreto.	74
Cuadro 7.4: Resumen del ensayo de Fluidéz del Concreto.	76
Cuadro 7.5: Resumen del ensayo de Exudación del Concreto.	78
Cuadro 7.6: Resumen del ensayo de Tiempo de Fraguado del Concreto.	79
Cuadro 7.7: Resumen del ensayo de Temperatura de la mezcla del Concreto.	83
Cuadro 7.8: Resumen del ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 días.	84
Cuadro 7.9: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 1, 3, 7,14 y 28 días.	84
Cuadro 7.10: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 1, 3, 7,14 y 28 días.	86
Cuadro 7.11: Resumen del ensayo de Resistencia a la tracción por compresión diametral del Concreto.	87
Cuadro 7.12: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto.	89
Cuadro 7.13: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 3, 7,14 y 28 días.	89
Cuadro 7.14: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 3, 7,14 y 28 días.	91
Cuadro 7.15: Resumen del ensayo de Porcentaje de absorción del Concreto.	92
Cuadro 8.1: Porcentaje de variación del Asentamiento con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	94
Cuadro 8.2: Porcentaje de variación del Peso unitario con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	95
Cuadro 8.3: Porcentaje de variación del Contenido de aire con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	97

Cuadro 8.4: Porcentaje de variación de la Fluidez con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	98
Cuadro 8.5: Porcentaje de variación de Exudación con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	100
Cuadro 8.6: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado inicial con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	102
Cuadro 8.7: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado final con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	103
Cuadro 8.8: Resumen de la Temperatura de la mezcla del Concreto.	105
Cuadro 8.9: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	107
Cuadro 8.10: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.45$.	108
Cuadro 8.11: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.	109
Cuadro 8.12: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.	110
Cuadro 8.13: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	111
Cuadro 8.14: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia del concreto a los 28 días.	113
Cuadro 8.15: Porcentaje de variación de la Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I.	116
Cuadro 8.16: Porcentaje de variación de la Resistencia a la flexión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	117
Cuadro 8.17: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.45$.	118
Cuadro 8.18: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.	119
Cuadro 8.19: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.	120

Cuadro 8.20: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto a los 3, 7, 14 y 28 días.	122
Cuadro 8.21: Porcentaje de variación del Porcentaje de absorción con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	122

	Pág.
Gráfico 1.1: Clasificación de las adiciones minerales.	23
Gráfico 2.1: Proceso de obtención del Carbonato de calcio molido.	30
Gráfico 6.1: Peso unitario compactado del agregado global.	64
Gráfico 6.2: Cantidad de agua requerida para diseño de mezcla con $a/c=0.55$.	65
Gráfico 6.3: Superposición de gráficas del P.U.C. y la resistencia.	66
Gráfico 6.4: Cantidad de agua requerida según a/c para los diseños de mezcla.	67
Gráfico 7.1: Ensayo de Asentamiento del Concreto.	72
Gráfico 7.2: Ensayo de Peso Unitario del Concreto.	74
Gráfico 7.3: Ensayo de Contenido de Aire del Concreto.	75
Gráfico 7.4: Ensayo de Porcentaje de Fluidéz del Concreto.	76
Gráfico 7.5: Ensayo de Porcentaje de Exudación del Concreto.	78
Gráfico 7.6: Ensayo de Tiempo de Fraguado del Concreto.	80
Gráfico 7.7: Ensayo de Temperatura de la mezcla del Concreto.	82
Gráfico 7.8: Ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto a los 28 días.	84
Gráfico 7.9: Ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.	85
Gráfico 7.10: Ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.	85
Gráfico 7.11: Ensayo de la Resistencia a la tracción por compresión diametral del Concreto.	87
Gráfico 7.12: Ensayo de la Resistencia a la flexión del Concreto.	90
Gráfico 7.13: Ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 3, 7, 14 y 28 días.	90
Gráfico 7.14: Ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 3, 7, 14 y 28 días.	91
Gráfico 7.15: Ensayo de Porcentaje de absorción del Concreto.	92
Gráfico 8.1: Porcentaje de variación del Asentamiento con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	94

Gráfico 8.2: Porcentaje de variación del Peso unitario con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	96
Gráfico 8.3: Porcentaje de variación del Contenido de aire con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	97
Gráfico 8.4: Porcentaje de variación de la Fluidez con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	99
Gráfico 8.5: Porcentaje de variación de Exudación con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	100
Gráfico 8.6: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado inicial con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	102
Gráfico 8.7: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado final con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	103
Gráfico 8.8A: Temperatura de la mezcla del Concreto para $a/c=0.45$.	105
Gráfico 8.8B: Temperatura de la mezcla del Concreto para $a/c=0.55$.	106
Gráfico 8.8C: Temperatura de la mezcla del Concreto para $a/c=0.60$.	106
Gráfico 8.9: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	108
Gráfico 8.10: Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.45$.	109
Gráfico 8.11: Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.	110
Gráfico 8.12: Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.	111
Gráfico 8.13A: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I, $a/c=0.45$.	112
Gráfico 8.13B: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I, $a/c=0.55$.	112
Gráfico 8.13C: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de	113

ref. Sol tipo I, $a/c=0.60$.	
Gráfico 8.14A: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia a los 28 días, para $a/c=0.45$.	114
Gráfico 8.14B: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia a los 28 días, para $a/c=0.55$.	114
Gráfico 8.14C: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia a los 28 días, para $a/c=0.60$.	115
Gráfico 8.15: Porcentaje de variación de la Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I.	116
Gráfico 8.16: Porcentaje de variación de la Resistencia a la flexión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	118
Gráfico 8.17: Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.45$.	119
Gráfico 8.18: Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.	120
Gráfico 8.19: Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.	121
Gráfico 8.20: Ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto a los 3, 7, 14 y 28 días.	121
Gráfico 8.21A: Ensayo de Porcentaje de absorción del Concreto.	123
Gráfico 8.21B: Porcentaje de variación del Porcentaje de absorción con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.	124

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1: Influencia del contenido de arcilla del filler calcáreo en el requerimiento de agua del concreto.	36
Figura 3.2: Influencia de cada compuesto del clinker portland en la evolución de resistencia mecánica de la pasta cementicia.	37
Figura 3.3: Proceso de fabricación del cemento Inka tipo ICo.	40
Figura 4.1: Relación entre la porosidad de la pasta de cemento y el coeficiente de difusión de cloruros.	49
Figura 7.1: Imagen del papel indicador de pH usado para verificar el grado de alcalinidad del concreto fresco.	81
Figura 7.2: Forma de colocación de la viga de ensayo.	88
Figura 8.1: Comparación del papel indicador usado con la cartilla de colores de medición de pH.	104

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLO

%:	Porcentaje.
σ :	Desviación estándar.
”:	Pulgada.
+/-:	más o menos.
Π :	pi

SIGLA

a/c:	Relación agua/cemento en peso.
ACI:	American Concrete Institute.
ASOCEM:	Asociación de productores de cemento.
ASTM:	American Society for Testing and Materials
cm.:	centímetros.
cm ² :	centímetros cuadrados.
Cv:	Coefficiente de variación.
D:	Diámetro.
F'c:	Resistencia a la compresión.
hr.:	hora
ICG:	Instituto de la Construcción y Gerencia
Kg.:	Kilogramo.
Kg/cm2:	Kilogramo por centímetro cuadrado.
Kg/m3:	Kilogramo por metro cubico.
Lb/pulg2:	Libra por pulgada cuadrada
L:	Longitud.
LEM:	Laboratorio de Ensayo de Materiales.
m ³ :	metro cubico.
min.:	minutos
mm.:	milímetros.
NTP:	Norma Técnica Peruana
P:	Carga de rotura.
PU:	Peso Unitario.

P.U.C.:	Peso Unitario Compactado.
pulg ² :	Pulgadas cuadradas.
S/.	Nuevos soles.
seg.:	segundos
t:	tiempo
T.F.I.:	Tiempo de fragua inicial
T.F.F.:	Tiempo de fragua final.
Ton:	Toneladas.
UNI:	Universidad Nacional de Ingeniería
Wm:	Peso de la mezcla
Wb:	Peso del balde
°C:	Grados centígrados.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento observado en el sector construcción en los últimos años, ha incentivado la entrada de empresas cementeras al mercado peruano. Empresas que han iniciado operaciones comerciales como Cemex (importación de cemento) y Caliza Cemento Inca en Lima, que abastecen la zona de la costa y sierra central. Se espera la instalación de nuevas empresas cementeras con la construcción de sus plantas de cemento en los próximos años: Cemex en Lima, Cementos Portland en Lima, Cementos Otorongo en Arequipa y Cementos Interoceánicos en Puno. No solo es la incursión de nuevas empresas sino el desarrollo de la variedad en los productos de cemento como es el caso del Cemento Portland con microfiller calizo, del cual se desea incrementar información respecto a sus diferentes propiedades.

El presente trabajo de investigación está orientado a comprobar el comportamiento de los concretos preparados con Cemento Portland con microfiller calizo, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. Para tal fin se utilizará el Cemento Portland tipo ICo de la marca Inka con contenido de microfiller calizo y se comparará los resultados con concretos elaborados con Cemento Portland tipo I de la marca Sol. Así podremos elegir con mejores elementos de juicio si es el más adecuado para una determinada obra.

Primero se analizarán cada uno de los componentes del concreto. Luego se realizarán los diseños de mezcla para los concretos patrones teniendo en cuenta las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.55 y 0.60 para el Cemento Portland con microfiller calizo y para el Cemento Portland tipo I. Con estos diseños, bajo condiciones de laboratorio, se analizarán las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Todas las pruebas se realizarán en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la UNI y siguiendo las normas vigentes emitidas por la American Society for Testing Materials (ASTM) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP) ya que son documentos técnicos que rigen la aprobación o rechazo del producto estudiado.

Capítulo **I**

**GENERALIDADES DEL CEMENTO PORTLAND
Y LAS ADICIONES MINERALES**

1.1 CEMENTO PORTLAND

1.1.1 DEFINICIÓN

De acuerdo a la definición de la Norma NTP 334.001 (Norma Técnica Peruana), el cemento portland es un "cemento hidráulico" producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda.

Son aquellos aptos para aplicaciones estructurales y que, además, pueden utilizarse para aplicaciones no estructurales en la construcción. Los tipos de cemento para uso general, su composición, características, nomenclatura, y demás particularidades, están especificados en la Norma NTP 334.009.

Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del Concreto

El cemento es el ingrediente activo que interviene en menor cantidad en las mezclas de concreto, sin embargo es el que define las tendencias de su comportamiento. La mayoría de beneficios que obtenemos del concreto provienen del cemento. Las proporciones típicas, en porcentaje de volumen absoluto, de los componentes de las mezclas del concreto son: ²⁰

Aditivos = 0.1 % a 0.2 %

Cemento = 7 % a 15 %

Agua = 15 % a 22 %

Agregados = 60 % a 75 %

1.1.2 TIPOS DE CEMENTO

Según las normas, se tienen los siguientes tipos de cementos:

- Cementos Portland estándar o no mezclados (ASTM C-150, NTP 334.009)
- Cementos Portland adicionados o mezclados (ASTM C-595, NTP 334.090)

- **CEMENTO PORTLAND ESTÁNDAR O NO MEZCLADOS (ASTM C-150, NTP 334.009)**

Cemento hidráulico producido mediante la pulverización conjunta de clinker Portland y yeso.¹⁷

Calizas + Areniscas + Arcillas + 1300°C = Clinker

Clinker + Yeso + Molienda = CEMENTO

- **CEMENTO PORTLAND ADICIONADOS O MEZCLADOS (ASTM C-595, NTP 334.090)**

Cemento hidráulico obtenido mediante la pulverización conjunta de clinker Portland, yeso y otros materiales denominados "adiciones" (puzolanas, escorias, caliza, etc.).

El contenido de las adiciones está limitado por la norma específica correspondiente. La incorporación de adiciones contribuye a mejorar las propiedades del cemento.

1.1.3 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND ESTÁNDAR

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, los tipos de cementos Portland están clasificados de acuerdo a sus propiedades específicas.

TIPO I: Para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo;

TIPO II: Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación;

TIPO III: Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales;

TIPO IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación;

TIPO V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos;

NOTA: Algunos cementos son denominados con un tipo de clasificación combinada, como Tipo I/II, indicando que el cemento reúne los requisitos de los tipos señalados y es ofrecido como adecuado para su uso cuando cualquiera de los dos tipos son deseados.¹⁷

1.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS

Para los propósitos de la NTP 334.090 se aplican las siguientes definiciones:

Cemento adicionado binario: Un cemento adicionado hidráulico que consiste en cemento Portland con cemento de escoria, o cemento Portland con una puzolana.

Cemento adicionado ternario: Un cemento adicionado hidráulico que consiste en cemento Portland con una combinación de dos puzolanas diferentes, o cemento Portland con cemento de escoria y una puzolana.

TIPOS:

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.090, se aplica a los siguientes tipos de cemento adicionado que generalmente son concebidos para el uso indicado. Cementos Portland adicionados para construcción de concreto en general.

TIPO IS: CEMENTO PORTLAND CON ESCORIA DE ALTO HORNO.

Es un cemento hidráulico en el cual el cemento de escoria constituyente está presente hasta el 95% en masa, de la masa total del cemento adicionado. Se permite que un cemento adicionado, binario o ternario, con un contenido de cemento de escoria igual o mayor al 70% en masa, contenga cal hidratada.

TIPO IP: CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO.

Es un cemento hidráulico en el cual la puzolana constituyente está presente entre el 20% y 40% en masa, de la masa total del cemento adicionado.

TIPO I (PM): CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO MODIFICADO.

Es una mezcla íntima y uniforme de cemento Portland y puzolana finamente dividida. El producto se obtiene por la pulverización conjunta de clinker de cemento Portland y puzolana o, por la mezcla conjunta de cemento Portland y puzolana finamente molida o una combinación de molienda y mezclado. En el producto final la puzolana estará presente en no más del 20% en masa, de la masa total del cemento Portland puzolánico.

TIPO IT: CEMENTO ADICIONADO TERNARIO.

Es un cemento hidráulico que consiste en una mezcla íntima y uniforme (Véase Nota 7), producida ya sea por la molienda conjunta de clinker de cemento Portland con 1) dos puzolanas diferentes, 2) escoria granulada de alto horno o cemento de escoria y una puzolana; o por el mezclado de cemento Portland con

1) dos puzolanas diferentes o 2) cemento de escoria y una puzolana, o 3) un proceso combinado de molienda y mezclado.

TIPO ICo: CEMENTO PORTLAND COMPUESTO.

Es un cemento Portland obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland, materias calizas y/o inertes hasta un máximo de 30%.¹⁹

1.1.5 CEMENTOS PORTLAND. ESPECIFICACIÓN DE LA PERFORMANCE

Según la norma técnica peruana NTP 334.082 se dan los requisitos de performance de los Cementos Portland para aplicaciones generales y especiales, donde no existen restricciones en la composición del cemento o sus constituyentes. Se clasifica a los cementos por tipos basados en sus requerimientos específicos: Alta resistencia inicial, resistencia al ataque de sulfatos, calor de hidratación.

Sus tipos son:

- GU: Cemento Portland para construcciones generales. Usar cuando no se requieran propiedades especiales.
- HE: De alta resistencia inicial
- MS: De moderada resistencia a los sulfatos
- HS: De alta resistencia a los sulfatos
- MH: De moderado calor de hidratación
- LH: De bajo calor de hidratación

1.2 ADICIONES MINERALES

1.2.1 DEFINICIÓN

Las adiciones minerales son compuestos inorgánicos que son incorporados al cemento o directamente al concreto, en diferentes porcentajes, con el fin de mejorar sus propiedades en estado fresco y/o endurecido. Las razones de la incorporación de adiciones en la fabricación de cementos son variadas, destacándose las ecológicas (aprovechamiento de un residuo o subproductos de

otras industrias o procesos; menor generación de CO₂; etc.) y la obtención de cementos con propiedades especiales, con costos de producción reducidos.

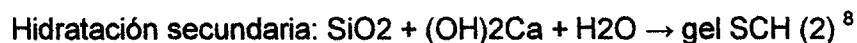
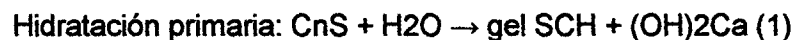
1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ADICIONES MINERALES

En general, las adiciones minerales pueden clasificarse como:

- a) Adiciones minerales activas.
- b) Adiciones minerales inactivas.

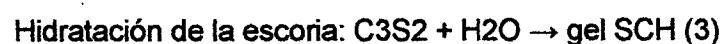
a) ADICIONES MINERALES ACTIVAS

Las adiciones activas son aquellos minerales naturales o artificiales que presentan la capacidad de hidratarse y formar productos de hidratación SCH (silicatos de calcio hidratado) de manera similar a los formados en la hidratación del cemento portland "puro". A su vez, estas pueden separarse en las que poseen hidraulicidad latente y las puzolánicas. Mientras que las primeras tienen la capacidad de hidratarse por sí mismas en presencia de agua y un agente catalizador, las segundas se hidratan a través de una reacción secundaria donde se combinan con el (OH)₂Ca formado durante la hidratación primaria (1), resultando compuestos SCH:



Donde el SiO₂ lo aporta la puzolana y el (OH)₂Ca es el subproducto generado durante la hidratación primaria. Podrá observarse que durante la hidratación de las puzolanas no hay generación de (OH)₂Ca por lo cual es de esperar que los cementos u concretos que poseen estas adiciones presenten mayor resistencia final y durabilidad que los elaborados con cementos "puros" ya que el (OH)₂Ca tiene muy baja resistencia estructural.

En el caso de la hidratación de la escoria granulada de alto horno, el agente catalizador es el ambiente alcalino generado durante la hidratación primaria. En forma similar a las puzolanas, durante la hidratación de esta adición mineral solamente se genera gel SCH por lo cual se espera mayor resistencia final y durabilidad: ⁸



Entre estas adiciones podemos mencionar:

1) Puzolanas

Naturales:

- Cenizas volcánicas
- Tobas volcánicas (zeolitas)
- Tierras de diatomeas (diatomitas)

Artificiales:

- Cenizas volantes
- Arcillas activadas térmicamente
- Microsílice (silica fume)
- Cenizas de cáscara de arroz

2) Escorias Siderúrgicas

- Escorias granuladas de Alto Horno
- Escorias peletizadas (melilitas)

b) ADICIONES MINERALES INACTIVAS

Son minerales que no forman productos de hidratación SCH aunque su utilización suele tener efectos benéficos sobre la hidratación de las partículas de clinker y las propiedades del concreto en estado fresco.

Dentro de este tipo de adición mineral se encuentra:

El "filler calcáreo" de utilización masiva desde hace algunos años en Europa (sobre todo Italia y Francia) y en Latinoamérica tenemos a Argentina.

1.2.3 VENTAJAS

- Mejores propiedades:
 - Mayor durabilidad.
 - Menor calor de hidratación.
 - Mayores resistencias.
- Ahorro de energía no renovable
- Protección del medio ambiente
 - Reducción de la emisión de CO₂, SO₂, NO_x.
 - Uso de subproductos industriales.

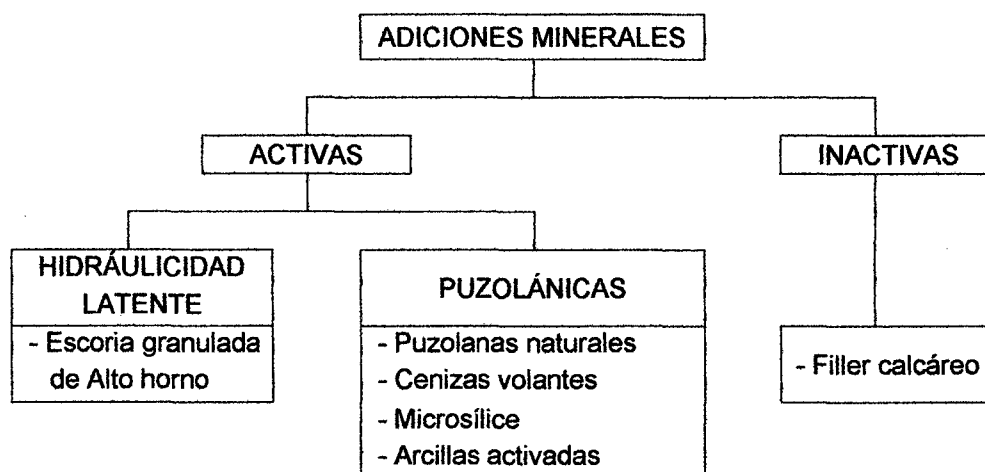


Gráfico 1.1: Clasificación de las adiciones minerales.⁸

1.2.4 PUZOLANA

Son minerales naturales o artificiales en los que predominan la sílice amorfa y la alúmina. Para que pueda producirse la reacción puzolánica indicada anteriormente, es necesario que la sílice esté en estado amorfo.

Las puzolanas naturales son rocas de origen volcánico (tobas y cenizas volcánicas) o de naturaleza orgánica de origen sedimentario (dolomitas). En nuestro país se utilizan mayoritariamente puzolanas naturales. En otros países, en función a las disponibilidades generadas por otras industrias se dispone de puzolanas artificiales entre las que se encuentran las arcillas activadas térmicamente, las cenizas volantes (fly ash) y humos de sílice (silica fume) también conocida como microsílíce debido al tamaño de partículas (entre 10 y 100 veces más pequeñas que las partículas de cemento).

1.2.5 ESCORIA DE ALTO HORNO

Es un subproducto de la fabricación del hierro y posee una composición química parecida al clinker portland. Cuando se la granula, mediante el enfriamiento violento con ayuda de agua inyectada a presión o combinando aire + agua, sus minerales componentes permanecen en un estado vítreo (no cristalino) que le confiere una hidrúlicidad latente.

No hay que confundir con la escoria enfriada al aire que, al ser enfriada en forma lenta, presenta un ordenamiento de cristales propio del estado sólido por lo cual no tiene propiedades hidráulicas y suele utilizarse como agregado o balasto.

1.2.6 FILLER CALCÁREO

Es un mineral compuesto básicamente por carbonato de calcio que, dada su facilidad de molienda, se adiciona al cemento o se muele en forma conjunta con el clinker portland en molino de cemento y ejerce efectos beneficiosos sobre los morteros u concretos en estado fresco. Adicionalmente, debido a su pequeño tamaño las partículas de filler calcáreo suelen mejorar la distribución granulométrica del cemento mejorando la resistencia temprana del concreto.

1.3 CEMENTOS EN EL PERÚ

Las empresas cementeras en Perú, producen los siguientes tipos de cemento: ²

a. Cemento Andino S.A.

Cemento Portland Tipo I
Cemento Portland Tipo II
Cemento Portland Tipo V
Cemento Portland Puzolánico Tipo I (PM)

b. Cementos Lima S.A.

Cemento Portland Tipo I; Marca "Sol"
Cemento Portland Tipo IP - Marca "Súper Cemento Atlas"

c. Cementos Pacasmayo S.A.A.

Cemento Portland Tipo I
Cemento Portland Tipo II
Cemento Portland Tipo V
Cemento Portland Puzolánico Tipo IP
Cemento Portland MS-ASTM C-1157
Cemento Portland Compuesto Tipo I Co

d. Cementos Selva S.A. (subsidiaria de cementos Pacasmayo)

Cemento Portland Tipo I
Cemento Portland Tipo II
Cemento Portland Tipo V
Cemento Portland Puzolánico Tipo IP
Cemento Portland Compuesto Tipo I Co

e. Cemento Sur S.A.

Cemento Portland Tipo I - Marca "Rumi"
Cemento Portland Puzolánico Tipo IPM - Marca "Inti"
Cemento Portland Tipo II
Cemento Portland Tipo V

f. Yura S.A.

Cemento Portland Tipo I
Cemento Portland Tipo IP
Cemento Portland Tipo IPM

g. Caliza Cemento Inca S.A.

Cemento Portland Compuesto Tipo ICo - Marca "Inka"

1.4 NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO

Se cuenta con 7 normas sobre especificaciones, una de muestreo e inspección, 5 sobre adiciones y 30 sobre método de ensayo.

En la actualidad, la responsabilidad de la normalización se encuentra en el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, creado por Ley N° 25868, promulgada el 18.11.92. La dación de normas se encuentra dentro de las atribuciones de una de las secretarías de INDECOPI, denominada Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. El INDECOPI, como los organismos que lo antecedieron y la práctica internacional, efectúa la normalización por intermedio de comités técnicos tripartitos que congregan a especialistas de la producción, el consumo y la tecnología.

1.5 CAPACIDAD INSTALADA DE LAS EMPRESAS CEMENTERAS

La capacidad instalada en Toneladas métricas de las empresas cementeras en el Perú es:

Cuadro 1.1: Capacidad instalada de las empresas cementeras en el Perú.

EMPRESA	CAPACIDAD INSTALADA 2012
Cementos Lima S.A.	5 500 000
Cementos Pacasmayo S. A. A.	2 900 000
Cemento Andino S.A.	2 100 000
Yura S.A.	3 000 000
Cemento Sur S.A.	340 000
Cemento Selva S.A.	300 000
Caliza Cemento Inca S.A.	300 000

Fuente: Asociación de Productores de Cemento, "Capacidad Instalada - Cementeras", Estadística, Lima, 2012.²

Capítulo **II**

CALIZA

2.1 DEFINICIÓN

Las calizas son rocas sedimentarias, de naturaleza inorgánica y origen mineral, formadas al menos por un 50% de carbonato cálcico, con porcentajes variables de impurezas.

La caliza está compuesta principalmente de mineral calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)$), predominando la calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican el color y el grado de coherencia de la roca.

El género prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita:

- Tienen 3° de dureza en la Escala de MOHS (escala de 1 a 10 grados, en la que el material más suave es el talco con 1° y el más duro es el diamante con 10°), y
- Reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

2.2 OBTENCIÓN DE LA CALIZA

Las calizas son explotadas de canteras de los yacimientos de material calcáreo que contienen carbonato de calcio como el mármol, la creta, el travertino, el coral, el shert y la marga. Las canteras por lo general están ubicadas cerca de las plantas de elaboración del clinker y del cemento, lo que reduce el costo de transporte del material. Las cementeras tienen canteras propias de caliza y arcilla, reduciendo también el costo de suministro.

En la costa y en los andes peruanos las calizas se caracterizan por su alto contenido de calcita (carbonato de calcio).

En principio, se seleccionan yacimientos de la mayor homogeneidad y calizas con red cristalina desorganizada, que determinan resistencias más elevadas que las que tienen red cristalina bien cristalizada.

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA CALIZA

Por lo general, las características físicas y químicas de la caliza son las que se presentan a continuación: ²³

Cuadro 2.1: Características físicas de la Caliza.

Característica	Valor
Estado de agregación	Sólido
Apariencia	Roca blanca y tintes diversos debido a presencia de impurezas. Crema, castaño, café, gris, azulado, y mezclas de otros colores.
Densidad	2.68 - 2.84 g/cm ³
Grado dureza en escala MOHS	3º

Fuente: Zapata Degregori M., "Control de costos de una operación minera mediante el método de resultado operativo", 2003. ²⁴

En seguida se muestra un cuadro de clasificación de los tipos de caliza, en base a su composición química y rango de ley establecidos para las variables dadas, efectuados en la cantera Atocongo-Cementos Lima S.A.

Cuadro 2.2: Tipos de caliza y variables de calificación con sus leyes de tolerancia.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	TIPOS DE CALIZA		
	LOCAL		EXPORTACIÓN
VARIABLES	PIEDRA BAJA	PIEDRA MEDIA	PIEDRA ALTA
	Tolerancia %	Tolerancia %	Tolerancia %
CaO Oxido de Calcio	41 a 42.7	42.8 a 43.8	> 43.8
SiO ₂ Oxido de Sílice	> 13.30	12 a 13.3	< 12
SO ₃ Trióxido de Azufre	< 1.2	< 1	< 0.8
CO ₃ Trióxido de Carbono	70 a 74	72 a 76.6	> 76.6
MgO Oxido de Magnesio	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Las variables principales de control son el CaO y el SO ₃ . Los carbonatos son sólo referenciales.			

Fuente: Zapata Degregori M., "Control de costos de una operación minera mediante el método de resultado operativo", 2003. ²⁴

2.4 PRINCIPALES PRODUCTOS DERIVADOS DE LA CALIZA

La caliza tiene gran interés económico ya que constituye la materia prima del cemento. La caliza es uno de los productos mineros no metálicos con mayor volumen de producción en el Perú representando más del 50% de la producción total en este sector. Los principales productos que se derivan de la caliza son:

- **Cal:** Es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio).
- **Cemento:** Es un aglomerante, proveniente de la pulverización del clinker obtenido por fusión incipiente de materiales calizos y arcillosos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades dosificadas, adicionándole posteriormente yeso sin calcinar.
- **Carbonato de calcio:** Es un producto que está constituido químicamente por CaCO_3 , el cual se extrae de rocas calizas.

2.5 CARBONATO DE CALCIO

El carbonato de calcio es el producto obtenido por molienda fina o precipitación de calizas extremadamente puras, con una pureza mínima del 97% del CaCO_3 (según NTP 334.131).

El carbonato de calcio se obtiene de dos formas:

1. Carbonato de calcio precipitado: Es obtenido por la precipitación del calcio en forma de carbonato. Tiene menos impurezas, más brillo y morfología controlada, es usado como relleno y extensor en productos industriales, productos farmacéuticos y en productos para aplicación en alimentos.

El proceso físico-químico para la obtención del carbonato de calcio precipitado se denomina carbonatación. El proceso más común consiste en pasar de la forma de gas a una solución de cal, mediante las siguientes reacciones:

- Calcinación: $\text{CaCO}_3 + \text{CALOR} = \text{CaO} + \text{CO}_2$ que se libera; CaO: Oxido de calcio (Cal viva)
- Hidratación o apagamiento: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$
- Carbonatación: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; CaCO_3 : Carbonato de calcio precipitado

2. Carbonato de calcio micronizado (molido): Es obtenido por la molienda de la roca caliza.

Químicamente se podría decir que se trata del mismo producto, la diferencia radica en el proceso tecnológico aplicado para su obtención y en las características del producto final.

La producción de carbonato de calcio micronizado, se realiza mediante un proceso físico, como se muestra en la siguiente gráfica, y comprende las siguientes etapas:

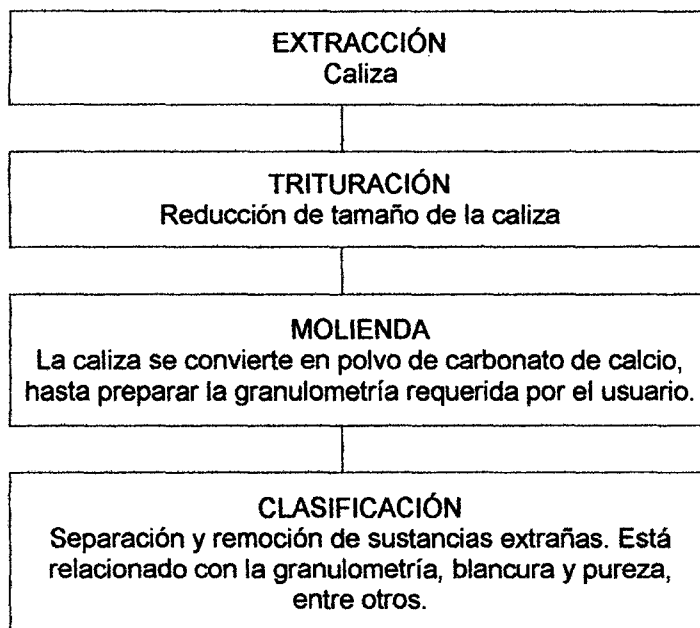


Gráfico 2.1: Proceso de obtención del Carbonato de calcio molido.²⁴

Capítulo **III**

**GENERALIDADES SOBRE LA FABRICACIÓN DEL
CEMENTO PORTLAND CON MICROFILLER CALIZO**

3.1 DEFINICIÓN Y NORMATIVA PERUANA

Según la definición de la norma NTP 334.090 (Norma Técnica Peruana), el Cemento Portland compuesto Tipo ICo es un “Cemento Portland adicionado obtenido por pulverización conjunta de clinker Portland, materias calizas y/o inertes hasta un máximo de 30%”.

Las materias calizas utilizadas en la fabricación de este tipo de cemento deberá cumplir los requerimientos de la norma NTP 334.090 que define al filler calizo como: “materiales inorgánicos minerales seleccionados, que mediante adecuada preparación, considerando su distribución granulométrica, mejoran las propiedades físicas del cemento. Las calizas que se emplean como filler para su inclusión en el cemento deben de encontrarse en una proporción de carbonato de calcio (CaCO_3) = 75% en masa, calculado a partir del contenido de óxido de calcio (CaO), y deben estar libres de contaminación de materia orgánica o arcilla”. Es decir trata de especificar una caliza de alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) y pureza.

El Cemento Portland compuesto Tipo ICo esta normalizado en el Perú bajo la norma NTP 334.090 que especifica la composición, características, evaluación y condiciones de recepción de los cementos para uso general. Además ésta norma también participa en los siguientes tipos de Cementos Portland adicionados como sigue:

Tipo IP: Cemento Portland puzolánico.

Tipo I(PM): Cemento Portland puzolánico modificado.

Tipo IS: Cemento Portland con escoria de alto horno.

NOTA: Esta NTP 334.090 establece las proporciones de los constituyentes adicionados y algunos requisitos de performance, mientras que la NTP 334.082 es una norma en la cual la especificación de performance, por sí sola, regula el producto y su criterio de aceptación.

3.2 FILLER

Los filler son materias minerales inorgánicas, ya sea naturales o artificiales, especialmente seleccionadas que luego de una preparación apropiada en función de su granulometría, mejoran las propiedades físicas de los cementos, como la trabajabilidad y la retención del agua.¹⁵

Los filler son considerados como químicamente inertes, en el caso de la sílice cuarzosa y la arena silícea finamente molida, pero los filler calizos además de su actividad reológica actúan en la cinética de la hidratación del cemento.

Los filler se diferencian unos de otros por:

- Su origen, su composición química y mineralógica, sus defectos de estructura y las impurezas que contienen.
- Su finura, la forma de sus granos y su estado superficial.
- Su dureza y su porosidad.

3.3 FILLER CALIZO

3.3.1 DEFINICIÓN

Los filler calizos son definidos como materiales minerales, de origen natural, seleccionados mediante adecuada preparación teniendo en cuenta su granulometría para mejorar las propiedades del cemento, como son la trabajabilidad y la retención de agua. Pueden tener propiedades hidráulicas latentes o puzolánicas sin que se especifique exigencias a este respecto.

Los filler calizos son reactivos en presencia de cemento. La reactividad dependerá de la naturaleza de la roca calcárea y de su estado de cristalización. Así, una calcita (CaCO_3 , mineral que forma gran parte de la caliza) con una red cristalina desordenada da aumentos de resistencia más rápidos que una calcita bien cristalizada. La molienda podría "desordenar" la estructura y mejorar la reactividad, por encima de las expectativas debidas al aumento de superficie específica, que se obtiene al tener un tamaño de partícula más fino.

3.3.2 ESPECIFICACIÓN DE COMPOSICIÓN DEL FILLER CALIZO

En el caso de la adición de filler calizos por encima del 5%, generalmente hasta un máximo del 30% como se establece en las normas europeas, se dan especificaciones para su composición en carbonato de calcio CaCO_3 , mayor o igual al 75%, y según estudios presentándose las mejores performances con contenidos de CaCO_3 mayores del 90%. Además se prescriben limitaciones para elementos perjudiciales, con valores muy exigentes para la presencia de arcillas y materia orgánica. Estos valores son:

Cuadro 3.1: Especificación de composición del filler calizo.

Contenido	Ensayo de evaluación	%
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	-	≥ 75% en masa
Arcilla	absorción de azul de metileno	≤ 1.20g / 100g
Materia orgánica	TOC	≤ 0.20% masa

Fuente: Gonzáles de La Cotera M., "Estudio de un cemento portland ecológico", ASOCCEM, Lima, 2002.¹⁵

Los procedimientos desarrollados de ensayo químico para la determinación del contenido de estos elementos adversos en las adiciones de filler calizos en porcentajes mayores del 5%, es como sigue:¹⁵

- Los filler calcáreos con participación de partículas de arcilla provocan alteraciones en la reología de las pastas y concretos.

Para la apreciación del contenido de arcilla se ha adoptado el método de azul de metileno, que consiste en medir la capacidad de absorción de una muestra en azul de metileno, representada como la cantidad de colorante requerido para recubrir una capa molecular las superficies externa e interna de todas las partículas arcillosas. El valor de azul de metileno ofrece una evaluación global de la cantidad y actividad de la fracción arcillosa y considera la importancia de la superficie específica interna.

- Se establece que el contenido de materias orgánicas debe ser inferior o igual al 0.20% en masa, evaluado mediante el ensayo denominado TOC, que corresponde a un método para la determinación del contenido total en carbono orgánico, que puede afectar la durabilidad de los cementos.

El procedimiento consiste en la separación del carbono por medio de un ácido, el carbono residual de la muestra es oxidada en dióxido de carbono, o alternativamente por calentamiento en una corriente de oxígeno. El CO₂ se determina luego gravimétricamente por absorción sobre hidróxido de sodio o por sus propiedades de conductividad térmica. Este procedimiento se considera muy preciso.

Alternativamente, algunos investigadores proponen criterios basados en el análisis químico para diferenciar las calizas. Estos son:

Cuadro 3.2: Criterio químico para diferenciar las calizas.

Elementos	Límite máx.	Comentarios
Al ₂ O ₃	2	Libre de arcillas
Equivalente SO ₃	0.5	No piritas
MgO	5	Libre de dolomita

Fuente: Gonzáles de La Cotera M., "Estudio de un cemento portland ecológico", ASOCEM, Lima, 2002.¹⁵

3.4 MICROFILLER CALIZO

El microfiller calizo es el producto mineral obtenido por molienda fina de las calizas para ser adicionado al cemento. Esta adición es considerada en las siguientes normas: NTP 334.090 (Norma técnica peruana), "Cementos Portland adicionados o mezclados"; ASTM C 595, "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements"; y ASTM C 1157, "Standard Performance Specification for Blended Hydraulic Cement".

Proceso de Obtención

El microfiller calizo se puede obtener mediante los siguientes procesos:

1. Se obtiene como resultado de una complementaria molienda extra fina de la "harina cruda" clasificada y homogeneizada, que sirve a su vez para la fabricación del cemento. Es un proceso de molienda que se realiza individualmente del proceso seguido para obtener el cemento, este no ingresa al horno.
2. Se obtiene como subproducto del proceso de Clinkerización del material calizo en los filtros de captación o mangas.

Después de haberse obtenido el microfiller calizo, éste es añadido a la molienda de cemento. En esta etapa del proceso se muele el clinker producido en el horno rotatorio, en forma conjunta con el yeso y microfiller calizo.

Características Físicas

Las características físicas del microfiller calizo, generalmente son:²³

- Su peso unitario está entre 800 a 1000 kg/m³.
- Su gravedad específica se encuentra entre 2.60 a 2.75.
- Su color característico es gris claro.
- Su tamaño promedio de partículas es menor a 4 micras.

- Su tamaño es de 1/3 a 1/4 del tamaño promedio de las partículas del cemento.
- El valor de su finura Blaine es aproximadamente 10.000 m²/kg.

3.5 CINÉTICA DE HIDRATACIÓN

3.5.1 PROPIEDADES REOLÓGICAS

Las propiedades reológicas o requerimiento de agua en la pasta, el mortero y el concreto preparada con el Cemento Portland con filler calcáreo dependen de:

- a. las características y calidad del clinker utilizado;
- b. la calidad del "filler" calcáreo utilizado, su finura y distribución de partículas y
- c. de la cantidad de sulfato de calcio adicionado durante la molienda.

En la figura se observa la influencia del contenido de arcilla del filler calcáreo representado por el contenido de óxido de aluminio Al₂O₃ en el requerimiento de agua del concreto.⁹

En el gráfico se observa:

- 1.- que el requerimiento de agua es menor para mezclas de concreto con "filler calcáreo de bajos contenido de arcilla", y
- 2.- por el contrario el uso de "filler calcáreo de alto contenido de arcilla" para la preparación de mezclas de concreto incrementa fuertemente el requerimiento de agua reduciendo los efectos beneficiosos de la caliza.

En conclusión, según la gráfica observada, se recomienda que en la producción de cementos portland con filler calcáreo se utilice una materia prima de buena calidad y se lleve un minucioso control de calidad, con el fin de asegurar un satisfactorio comportamiento de las mezclas de concreto y mortero preparadas con este cemento.

En la figura 3.1 se observa la cantidad de agua (representado por la relación a/c) vs. contenido de arcilla del filler calcáreo (representado por el contenido de óxido de aluminio Al₂O₃) para un concreto de asentamiento constante con un contenido de 18% de filler calcáreo en el cemento.

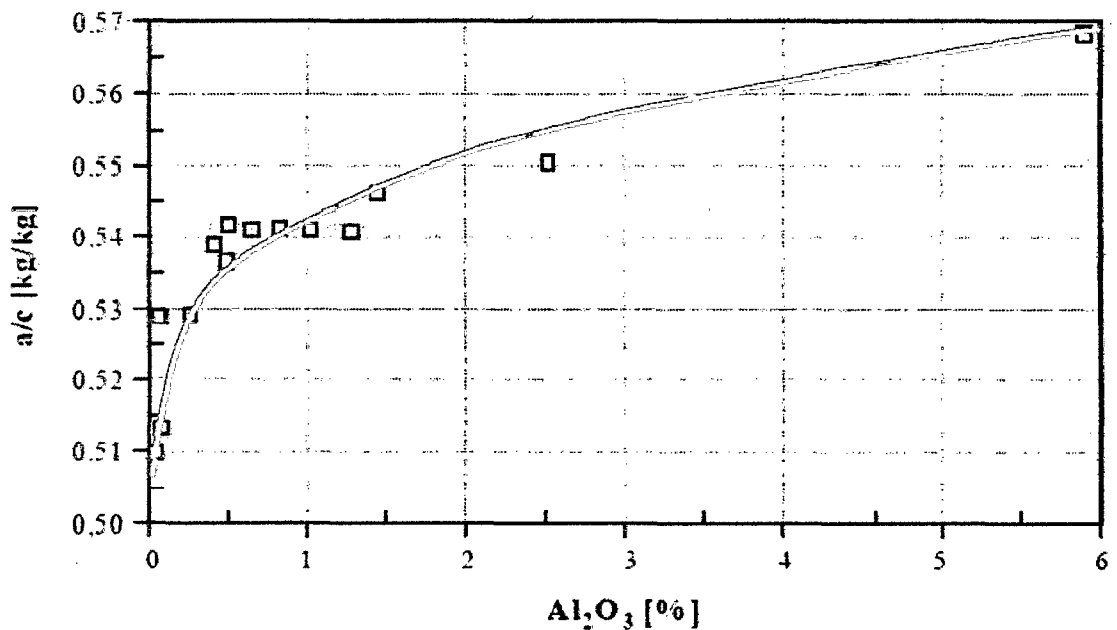


Figura 3.1: Influencia del contenido de arcilla del filler calcáreo en el requerimiento de agua del concreto.⁹

3.5.2 MECANISMO DE HIDRATACIÓN

Las investigaciones efectuadas para determinar el grado de actividad química del filler calizo son incipientes, pero permiten establecer su participación en la formación de productos de hidratación de la pasta de cemento y su relativa contribución a la resistencia mecánica del cemento Portland adicionado.

El carbonato cálcico acelera la hidratación del C3S y es parcialmente incorporado en la fase C-S-H.

La hidratación del cemento es acelerada por el CaCO₃. En la pasta el carbonato de calcio es incorporado en la hidratación del C3A y en la fase C3S.

La hidratación del C3A + CSH₂, en presencia del CaCO₃ produce la formación acelerada de la etringita y su conversión en monosulfoaluminato hidratado.⁹

Las resistencias tempranas de las pastas de cemento se incrementan por adiciones reducidas del CaCO₃. Pero a los 28 días las resistencias decrecen con contenidos mayores del 10%, circunstancia que se corrige con una mayor finura. Por otra parte los filler mejoran las características de la zona de transición entre la pasta hidratada y el agregado, mediante una interacción superficial, logrando la modificación de su microestructura debido a que el hidróxido de calcio cristaliza en cristales largos que se concentran en algunas zonas formando un

punteo entre los granos de material calcáreo logrando una estructura compacta. Esto es lo que da lugar al aumento del grado de hidratación de la pasta de cemento.

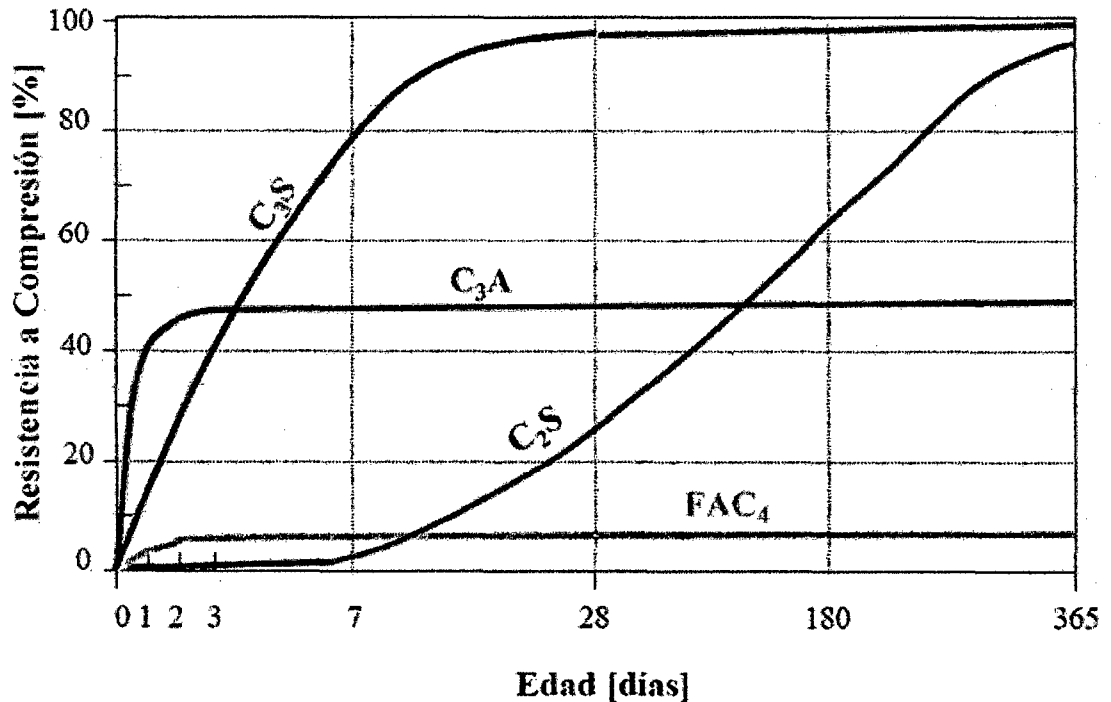


Figura 3.2: Influencia de cada compuesto del clinker portland en la evolución de resistencia mecánica de la pasta cementicia.⁹

3.6 MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS

En el siguiente cuadro se muestra las materias primas empleadas en la fabricación del cemento portland.

Cuadro 3.3: Materias primas empleadas en la fabricación de Cemento.

MATERIAL	FORMULA QUÍMICA	PORCENTAJE
CALIZA	CaCO ₃	75% - 85%
ARCILLA	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .H ₂ O	10% - 25%
SÍLICE	SiO ₂	1% - 2%
YESO	CaSO ₄ - 1/2H ₂ O	2% - 2.5%

Fuente: Shetty M. S., "Concrete Technology: Theory and Practice", 2005.²⁰

3.7 PROCESO DE FABRICACIÓN ¹¹

EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS

El proceso de fabricación del cemento se inicia en las canteras con la extracción de las materias primas. Éstas son la piedra caliza, arcilla, arena, hierro, y yeso; que al ser extraídas, son transportadas mediante volquetes a la planta de cemento.

PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

En esta etapa las materias primas son clasificadas, pre homogeneizadas y trituradas a un tamaño menos a 1 pulgada. Cada material es almacenado independientemente en silos.

MOLIENDA DE HARINA CRUDA

Se realiza en un molino de bolas de dos cámaras del tipo horizontal que opera en "circuito cerrado" con un separador, ciclón y filtro de mangas que evitan pérdidas y controlan la emisión de partículas.

El molino recibe los minerales donde se realizan simultáneamente la mezcla y pulverización de los mismos, el producto es un polvo muy fino, llamado "Harina Cruda", con la composición de química adecuada para producir el clinker

HOMOGENEIZACIÓN

La "Harina Cruda" obtenida es llevada mediante transportadores a los silos especiales de homogeneización, con la finalidad de uniformizar la mezcla, en calidad y finura. Esto se logra mediante aireación dentro de los silos.

CLINKERIZACIÓN

El material desciende por el intercambiador y pasa por los ciclones aumentando en cada etapa su temperatura.

El horno es la etapa más importante del proceso, en él se desarrollan las reacciones físico-químicas a 1450°C, entre los diferentes óxidos de calcio, sílice, aluminio, y hierro, los cuales se combinan para formar compuestos nuevos, que son enfriados rápidamente en la parte final del horno.

El producto enfriado es el CLINKER, que normalmente es granulado, de forma redondeada y de color gris oscuro.

MOLIENDA DEL CEMENTO

La molienda de cemento se desarrolla en un molino de bolas muy similar al molino de crudo.

En esta etapa del proceso se muele el clinker producido en el horno rotatorio, en forma conjunta con el yeso y microfiller calizo, minerales que le confieren propiedades específicas al cemento Inka tipo I Co Ecológico. El yeso, es utilizado para el tiempo de fraguado o endurecimiento de la mezcla, para permitir su manejo o plasticidad, y la adición de microfiller calizo para lograr mejor trabajo, mayor durabilidad, altas resistencias a la compresión, entre otros.

DESPACHO

Finalmente, el cemento Inka Tipo I Co Ecológico producido y almacenado en silos puede ser despachado directamente a granel para concreteiras, o envasado en bolsas con peso neto de 42.5 Kg.

CONTROL DE CALIDAD

El Laboratorio cuenta con un equipo de fluorescencia (rayos x) que nos permiten llevar un estricto control de calidad en las diferentes etapas productivas, donde se garantiza la calidad del producto y se cumple con los requisitos exigidos por la Norma Técnica Peruana y la Norma Americana ASTM.

USOS Y APLICACIONES

Construcción de edificios, viviendas, elementos estructurales y fabricación de productos de concreto.

Capítulo **IV**

**PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND
CON MICROFILLER CALIZO**

4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

4.1.1 COMPONENTES QUÍMICOS

Los componentes químicos del cemento Portland se expresan en porcentaje de óxidos que contienen. Los principales óxidos son: la cal, sílice, alúmina y el óxido férrico, siendo el total de éstos del 95% al 97% aproximadamente. En pequeñas cantidades también se presentan otros óxidos: la magnesia, el anhídrido sulfúrico, los álcalis y otros de menor importancia. Así tenemos:

Cuadro 4.1: Componentes Químicos del Cementos Portland de producción nacional.

Óxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	62.5 % - 64.5 %	C
SiO ₂	19 % - 22 %	S
Al ₂ O ₃	4 % - 6 %	A
Fe ₂ O ₃	3 % - 3.5 %	F
SO ₃	2.3 % - 2.6 %	
MgO	0.9 % - 2.9 %	

Fuente: Asociación de Productores de Cemento, "Química del Cemento", Boletín Técnico, Lima, 2008.³

4.1.2 COMPUESTOS QUÍMICOS

Los compuestos químicos formados por la combinación de los óxidos entre sí por la cocción a altas temperaturas y forman productos complejos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente el 95% del cemento, también se presentan en menores cantidades, otros compuestos secundarios.

Cuadro 4.2: Compuestos Químicos del Cementos Portland de producción nacional.

Designación	Formula	Abreviatura	Porcentaje
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S	48% - 52%
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S	17% - 27%
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A	6% - 10%
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF	9% - 11%

Fuente: Asociación de Productores de Cemento, "Química del Cemento", Boletín Técnico, Lima,

2008.³

4.1.3 PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS PRINCIPALES

Silicato Tricálcico (C₃S)

Es el más importante de los compuestos del cemento.

Determina la rapidez o velocidad de fraguado.

Determina la resistencia inicial del cemento

El calor de hidratación es equivalente a 120 cal/gr. Este compuesto tiene mucha importancia en el calor de hidratación de los cementos.

Contribuye a una buena estabilidad de volumen.

Contribuye a la resistencia al intemperismo.

Silicato Dicálcico (C₂S)

Es el segundo en importancia.

Endurece con lentitud.

Alcanza elevada resistencia a la compresión a largo plazo (después de prolongado endurecimiento).

El calor de hidratación es equivalente a 63 cal/gr.

Contribuye a la resistencia al intemperismo junto al C₃S.

Su contribución a la estabilidad de volumen es regular.

Aluminato Tricálcico (C₃A)

Es el primero en hidratarse, o sea fragua con mucha rapidez (hidratación violenta).

Tiene poca resistencia mecánica (no incide en la resistencia a la compresión)

Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo).

Tiene mala estabilidad de volumen.

Escasa resistencia a la acción del ataque de los sulfatos y ataques químicos.

Calor de hidratación equivalente a 207 cal /gr.

Ferro Aluminato Tetra cálcico (C₄AF)

Tiene relativa trascendencia en la velocidad de hidratación (es relativamente rápida).

El calor de hidratación es equivalente a 100 cal/gr (moderado).

En la resistencia mecánica no está definida su influencia.

La estabilidad de volumen es mala.

Nota: El Silicato Tricálcico (C_3S) y el Silicato Dicálcico (C_2S) ambos constituyen el 75% del cemento. Por lo que la resistencia mecánica se debe a estos dos compuestos.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS

Las características físicas más importantes del cemento son:

Finura o fineza

Se refiere al grado de molienda del polvo, se expresa por la superficie específica, y sus unidades están en m^2/kg . Se determina mediante los siguientes ensayos:

Permeabilímetro de Blaine

Turbidímetro de Wagner

Importancia de la propiedad: A mayor finura, crece la resistencia, pero aumenta el calor de hidratación y cambios de volumen.

Peso Específico

Se refiere al peso del cemento por unidad de volumen, se expresa en gr/cm^3 . Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo del Frasco de Le Chatelier (NTP 334.005)

Importancia de la propiedad: Usado en diseño de mezclas de concreto.

Tiempo de Fraguado

Se denomina al tiempo entre el mezclado (agua con cemento) y la solidificación de la pasta, se expresa en minutos. Se presenta como: El tiempo de Fraguado Inicial y El tiempo de Fraguado Final. Se determina mediante los siguientes ensayos:

Agujas de Vicat: (NTP 334.006)

Agujas de Gillmore: (NTP 334.056)

Importancia de la propiedad: Fija la puesta correcta en obra y endurecimiento de los concretos y morteros.

Estabilidad de Volumen

Representa la verificación de los cambios volumétricos por la presencia de agentes expansivos, se expresa en %. Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo en Autoclave: NTP (334.004).

Resistencia a la Compresión

Mide la capacidad mecánica del cemento, se expresa en Kg/cm². Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo de compresión en probetas cúbicas de 5 cm. (con mortero cemento-arena normalizada (NTP 334.051)

Se ensaya a diferentes edades: 1, 3, 7, 28 días.

Importancia de la propiedad: Es una de las más importantes de las propiedades ya que decide la calidad de los cementos

Contenido de aire

Indica la cantidad de aire atrapado o retenido en la mezcla (mortero), se expresa en % del volumen total. Se determina mediante el siguiente ensayo:

Pesos y volúmenes absolutos de mortero C-A en molde cilíndrico estándar (NTP 334.048)

Importancia de la propiedad: Concretos con aire atrapado disminuye la resistencia (5% del f'c por cada 1 % de aire).

Calor de Hidratación

Mide el calor desarrollado por la reacción exotérmica de la hidratación del cemento, se expresa en cal/gr. Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo del Calorímetro de Langavant o el de la Botella Aislante. Se emplea morteros estándar (NTP 334.064).

4.3 REQUISITOS TÉCNICOS DEL CEMENTO PORTLAND CON MICROFILLER CALIZO

A continuación se presenta los requisitos químicos y físicos solicitados por la NTP 334.090 acerca de los cementos Portland tipo ICo y los valores del Cemento Inka tipo ICo usado en el presente estudio:

Cuadro 4.3: Requisitos químicos y físicos del Cemento Inka tipo ICo.

01 ANÁLISIS QUÍMICO	VALORES	NTP 334.090 , ASTM C-595 CEMENTO PORTLAND TIPO ICo REQUISITOS	
DIÓXIDO DE SÍLICE (SiO ₂)	%	18.80	
OXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	%	5.30	
OXIDO DE FIERRO (Fe ₂ O ₃)	%	3.01	
OXIDO DE CALCIO (CaO)	%	62.62	
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)	%	0.88	MÁX. 6.00%
TRÍOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)	%	3.01	MÁX. 4.00%
PERDIDA POR IGNICIÓN (P.I.)	%	5.14	MÁX. 8.00%
INSOLUBLES	%	0.56	
02 PROPIEDADES FÍSICAS			
SUPERFICIE ESPECIFICA BLAINE (cm ² /g)		3997	
EXPANSIÓN AUTOCLAVE (%)		0.08	MÁX. 0.80%
DENSIDAD (g/cm ³)		3.01	
FRAGUADO VICAT INICIAL (min)		127	MIN. 45 min.
FRAGUADO VICAT FINAL (min)		359	MÁX. 420 min.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)			
24 HORAS		130	
3 DÍAS		235	MIN. 133 Kg / cm ²
7 DÍAS		284	MIN. 204 Kg / cm ²
28 DÍAS		346	MIN. 255 Kg / cm ²

Fuente: INDECOPI, "NTP 334.090:2011, Cementos. Cementos Portland adicionados. Requisitos", 2011.¹⁸

Fuente: Caliza Cemento Inca S.A. "Información de Control de Calidad del Cemento Inka", 2011.¹¹

4.4 DURABILIDAD

4.4.1 CONTRACCIÓN DEL CONCRETO

Se sabe que la contracción de los morteros y mezclas de concreto depende fundamentalmente del contenido de agua en la mezcla, se tiene que las mezclas de concreto preparadas con Cemento Portland con filler calcáreo suelen presentar una contracción un tanto superior a la producida con el Cemento

Portland Normal durante las primeras 24 hs, aunque luego de este período no se encuentran diferencias.⁹

4.4.2 PROPAGACIÓN DE FISURAS

Mayormente los Cemento Portland con filler calcáreo presentan una mayor finura que los Cemento Portland Normal. Esta característica favorece la retención de agua en la mezcla debido a una menor velocidad de exudación y como resultado tiende a mejorar la resistencia superficial del concreto.

También se tiene que, los cementos más finos tienden a aumentar el riesgo de fisuración por retracción plástica. Estos riesgos de fisuración se minimizan aplicando las medidas de protección y curado de los elementos de concreto.

La adición de microfiller calizo permite un moderado calor de hidratación a comparación de un concreto normal, volviéndose ideal para obras que requieran moderado calor de hidratación, evitando fisuras de origen térmico con el tiempo.

4.4.3 CARBONATACIÓN

Se afirma que la durabilidad de las estructuras se encuentra fuertemente condicionada por la velocidad de carbonatación del concreto.

Se tiene que el alto pH del concreto es muy importante en la protección de las armaduras (acero) porque impide la corrosión de ellas. El concreto normal es un material altamente alcalino (aproximadamente $\text{pH} = 13$). La alta alcalinidad del concreto normal se produce a partir de la formación de $(\text{OH})_2\text{Ca}$ (hidróxido de calcio) como subproducto de la hidratación del clinker portland.⁹

El CO_2 del aire al entrar en contacto con el $(\text{OH})_2\text{Ca}$ formado en la mezcla de concreto generan CaCO_3 que resulta un material menos alcalino.

La porosidad de la pasta y la humedad ambiente son causantes de la velocidad de propagación hacia el interior y espesor de carbonatación en los elementos de concreto.

Algunos trabajos concluyen que la porosidad de los elementos de concreto elaborados con Cemento Portland con filler calcáreo es mayor a la porosidad de los elementos de concreto elaborados con de Cemento Portland Normal, mientras que otros concluyen que es similar y no observan influencia de la composición del cemento.

Por lo tanto solo la elaboración de mezclas con una relación a/c baja nos puede asegurar elementos de concreto más impermeables, dándoles mayor durabilidad.

4.4.4 RESISTENCIA AL AGUA DE MAR

Se tiene que la resistencia del concreto expuesto al agua de mar depende principalmente del contenido de C_3A del clinker. La adición de "filler" tiende a disminuir la resistencia del concreto al agua de mar. Por tanto, no se recomienda la utilización de Cemento Portland con filler calcáreo que presente contenidos de "filler" superiores al 10 % en masa para concretos que estarán sometidos a ambiente marino.

4.4.5 RESISTENCIA A LOS SULFATOS

Tenemos según la norma NTP 334.009 Y ASTM C 150 que en presencia de sulfatos resulta fundamental la utilización de un cemento que presente un bajo contenido de Aluminato tricálcico (C_3A). En general, $C_3A \leq 8\%$ para ataque moderado y $C_3A \leq 5\%$ para ataque fuerte.⁹

Se sabe que los iones sulfato reaccionan con los carbonatoaluminatos de calcio o los sulfoaluminatos formando "etringita". Y que el carbonato de calcio reacciona con el monosulfoaluminato formando el monocarbonatoaluminato. Como resultado, al formarse antes, los iones carbonato no reaccionan con la etringita.

Según estas definiciones, se espera un mejor desempeño al ataque de sulfatos de aquellos Cemento Portland con filler calcáreo producidos a partir de clinker con alto C_3A ; es decir, de aquellos cementos que tendrían una pobre resistencia al ataque de los sulfatos de acuerdo a la norma NTP 334.009.

En los últimos años, se encontró que elementos de concreto elaborados a partir de piedra caliza o con ciertos contenidos de $CaCO_3$ pueden formar taumasita cuando están expuestos a altos niveles de humedad, contacto con sulfatos y bajas temperaturas. Esta formación cuya fórmula química es: $CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$, puede generarse rápidamente si el elemento de concreto está expuesto consistentemente a temperaturas inferiores a $4^\circ C$, y es más lenta cuando mayor es la temperatura de exposición hasta que ya no llega a formarse luego de los $15^\circ C$.

La ventaja del cemento con microfiller calizo Inka, presenta un bajo contenido de álcalis en el diseño de producción del clinker, mineral fundamental en la fabricación del cemento, ayudando a que presente una moderada resistencia a los sulfatos encontrándose cerca de cumplir con los requisitos para ser un cemento del tipo MS. Tiene una mayor resistencia a los sulfatos que un cemento normal del tipo I.

4.4.6 RESISTENCIA A CICLOS DE CONGELACIÓN Y DESHIELO

Según estudios realizados se tiene que, a igual relación a/c para Cemento Portland con filler calcáreo en comparación al Cemento Portland normal, la resistencia del concreto a ciclos de congelación y deshielo se ve afectada solamente cuando la adición de "filler" calcáreo supera el 15 %. Cantidades inferiores de filler calcáreo en la fabricación de Cemento Portland con filler calcáreo resultan beneficiosas cuando disminuye el factor de espaciamiento de las burbujas de aire incorporado utilizadas en los concretos que serán sometidos a esta severa condición de congelación y deshielo.

Si no se utiliza aire incorporado en la mezcla, el concreto elaborado con Cemento Portland con filler calcáreo mostrará un menor desempeño que concretos de similar relación a/c elaborados a partir de otros tipos de cemento.

Por tanto, para el trabajo con mezclas de concreto en climas fríos siempre resulta necesario e imprescindible la utilización de aire incorporado en el concreto. Cuando el diseño de la mezcla de concreto es adecuado, no se espera importantes diferencias en el comportamiento con los diferentes tipos cementos.

4.4.7 DIFUSIÓN DE IONES CLORURO

La incursión de cloruros en el concreto depende de la capacidad del Cemento Portland en fijar los iones cloruro, la resistencia del concreto y de su permeabilidad.

En la figura se muestra la influencia de la porosidad de la pasta de cemento en el coeficiente de difusión de cloruros para distintos cementos. De acuerdo a este gráfico, queda claro que la difusión de iones cloruro esencialmente depende de la porosidad de la pasta de cemento y no necesariamente del contenido y/o calidad de filler del cemento adicionado.⁹

Sin embargo, la adición de filler tiende a incrementar el coeficiente de difusión de cloruros a temperaturas similares. Esto significa que algunos fabricantes desarrollan un clinker especial para ser utilizado en Cemento con filler calizo por lo cual no resulta posible sacar conclusiones antes de realizar los ensayos correspondientes.

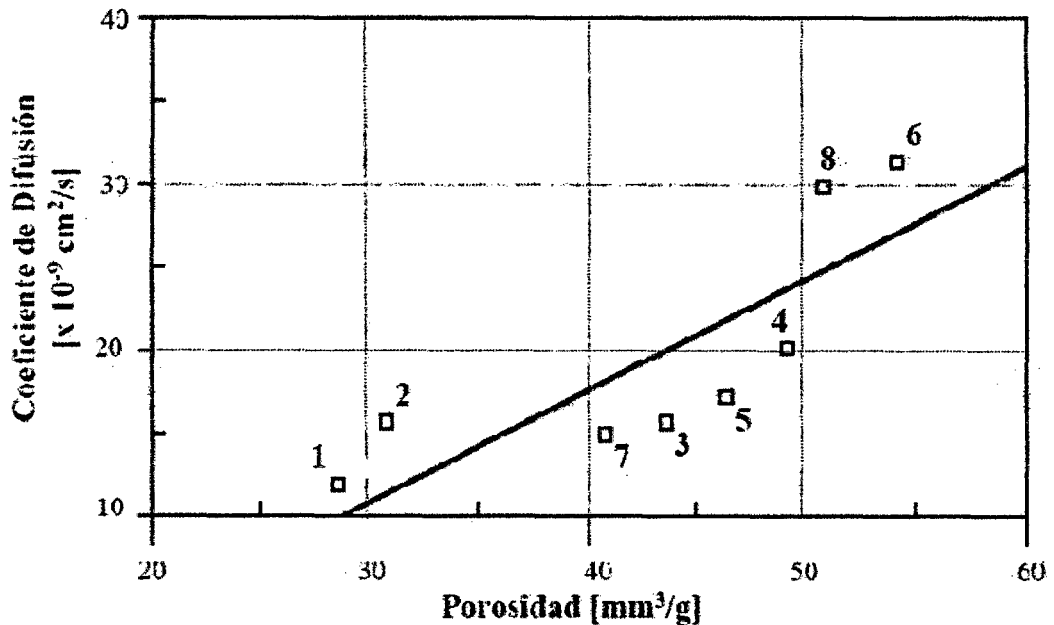


Figura 4.1: Relación entre la porosidad de la pasta de cemento y el coeficiente de difusión de cloruros.⁹

En la figura 4.1 se tiene que los cementos 1 a 4 no contienen ninguna adición (cementos “puros”), los cementos 5 y 6 contienen 15 % y 27 % de “filler” calcáreo respectivamente y los cementos 7 y 8 contienen 12 % y 20 % de microsilíce respectivamente.

No obstante una buena aproximación puede obtenerse a partir de conocer que existe una cierta relación inversa entre la resistencia mecánica y la porosidad; es decir, a menor porosidad hay mayor resistencia, entonces a mayor resistencia menor coeficiente de difusión de cloruros.

La porosidad en el cemento con microfiller calizo Inka no presenta mucha variación con respecto al cemento portland normal tipo I en las primeras edades a los 28 días.

Capítulo V

***DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS
MATERIALES A USAR EN EL CONCRETO***

5.1 AGREGADOS

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre límites normalizados en la NTP 400.037 ó ASTM C 33. Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica del concreto.

Por su tamaño los agregados se clasifican en: Agregado Grueso (piedra) y Agregado Fino (arena). La combinación de ambos materiales se denomina Agregado Global.

Agregado Fino: es el proveniente de la desintegración natural (arena) o artificial, que pasa el tamiz 9,5 mm (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la norma.

Agregado Grueso: es el retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la norma.

Grava: es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos proviniendo generalmente de canteras y lechos de ríos, depositado en forma natural.

Piedra triturada o chancada: se denomina al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.

El tamaño máximo: es definido por el que corresponde al menor tamiz, por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

Tamaño nominal máximo: es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

En esta investigación se utilizó agregado grueso de la Cantera Gloria y agregado fino de la Cantera Trapiche, ambas ubicadas en la ciudad de Lima.

5.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

PESO UNITARIO (NTP 400.017)

El peso unitario del agregado es aquel peso que alcanza un determinado volumen unitario. Se utilizan dos tipos de pesos unitarios: suelto y compactado.

Peso Unitario Suelto (PUS).-

Es la relación entre el peso del material en estado suelto y el volumen del recipiente que lo contiene.

$$PUS = \frac{\text{Peso del material suelto}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Peso Unitario Compactado (PUC).-

Es la relación entre el peso del material en estado compacto y el volumen del recipiente que lo contiene.

$$PUC = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

El PUC resultante de la mezcla de agregado grueso y fino (agregado global) es utilizado para hallar la mejor proporción en la combinación de estos materiales durante el diseño de mezcla de concreto.

PESO ESPECÍFICO (NTP 400.022)

El peso específico de los agregados, que se expresa también como densidad, es la relación a una temperatura estable de la masa de un volumen unitario del material y la masa del mismo volumen de agua destilada, libre de gas.

Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el Peso Específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es recomendable realizar pruebas adicionales.

Según la norma peruana NTP 400.022 y la norma ASTM C 128, se consideran tres formas de expresión de peso específico:

Peso Específico Aparente (PEa).-

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

$$PEa = \frac{P}{P - P_i}$$

Donde:

PEa = Peso específico aparente
P = Peso de la muestra seca
Pi = Peso de la muestra sumergida en agua

Peso Específico de Masa (PEm).-

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

$$PEm = \frac{P}{P_s - P_i}$$

Donde:

PEm = Peso específico de masa
P = Peso de la muestra seca
Ps = Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente
Pi = Peso de la muestra sumergida en agua

Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (PEsss).-

Es lo mismo que peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

$$PEsss = \frac{P_s}{P_s - P_i}$$

Donde:

PEsss = Peso específico saturado superficialmente seco
Ps = Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente
Pi = Peso de la muestra sumergida en agua

CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla, se expresa de la siguiente forma:

$$C.H. = \frac{P_a - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

C.H. = Contenido de Humedad
Pa = Peso de la muestra estado natural
Ps = Peso de la muestra seca

En los cálculos para las proporciones del concreto se considera al agregado en condiciones de saturado superficialmente seco, es decir, con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial.

Como se sabe, el contenido de agua de la mezcla influye en la resistencia y otras propiedades del concreto. En consecuencia, es necesario controlar la cantidad de agua. Si los agregados están saturados y superficialmente secos no pueden absorber ni ceder agua durante el proceso de mezcla. Sin embargo, un agregado parcialmente seco resta agua, mientras que el agregado mojado, superficialmente húmedo, origina un exceso de agua en el Concreto. En estos casos es necesario reajustar el contenido de agua, sea agregando o restando un porcentaje adicional a la cantidad de agua especificado, a fin de que el contenido de agua resulte el correcto.

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (NTP 400.022)

La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y de secado superficial. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto.

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{P_{SSS} - P_s}{P_{SSS}} \times 100$$

Donde:

% de Absorción = Porcentaje de Absorción

P_s = Peso de la muestra seca

P_{SSS} = Peso en gramos de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente

GRANULOMETRÍA (NTP 400.012)

El estudio granulométrico tiene como objetivo determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos, por medio de tamices de abertura cuadrada, dispuestos sucesivamente de mayor a menor tamaño.

Usualmente para el agregado fino y para el agregado grueso se utilizan grupos de tamices con los cuales se expresa la granulometría del material en función del porcentaje de peso retenido en cada tamiz.

Con los pesos retenidos acumulados en estos tamices se puede trazar la denominada curva granulométrica de excelente ayuda para mostrar y comparar la granulometría de un material específico con alguna granulometría ideal.

La norma peruana NTP 400.037, en lo referente a granulometría, establece límites para las curvas granulométricas tanto del agregado fino (cuadro 5.1) y grueso (cuadro 5.2).

Cuadro 5.1: Límites granulométricos del agregado fino.

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	
TAMIZ	Porcentaje de Peso (masa) que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 - 100
2.36 mm (N° 8)	80 - 100
1.18 mm (N° 16)	50 - 85
0.6 mm (N° 30)	25 - 60
0.3 mm (N° 50)	5 - 30
0.15 mm (N° 100)	0 - 10

Fuente: Norma técnica peruana NTP 400.037.

Estos límites granulométricos crean zonas donde las curvas respectivas de los distintos tipos de agregado pueden ser comparadas entre sí o con los límites propuestos. Las curvas granulométricas continuas y sin cambios bruscos generalmente tienen buen comportamiento en los concretos normales. El análisis de las curvas se realiza tanto para el agregado en forma independiente como para la combinación de ambos también denominado agregado global, para dicha combinación también existen límites granulométricos que dan referencia de la calidad del material.

Para el agregado global la norma peruana NTP 400.037, en lo referente a granulometría, establece límites para las curvas granulométricas (cuadro 5.3).

Cuadro 5.2: Límites granulométricos del agregado grueso.

REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO														
N° ASTM	Tamaño Nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100mm (4")	90mm (3 1/2")	75mm (3")	63mm (2 1/2")	50mm (2")	37.5mm (1 1/2")	25mm (1")	19mm (3/4")	12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90a100		25a60		0a15		0a5					
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90a100	35a70	0a15		0a5					
3	2" a 1"				100	90a100	35a70	0a15		0a5				
357	2" a N°4				100	95a100		35a70		10a30		0a5		
4	1 1/2" a 3/4"					100	90a100	20a55	0a15		0a5			
467	1 1/2" a N°4					100	95a100		35a70		10a30	0a5		
5	1" a 1/2"						100	90a100	20a55	0a10	0a5			
56	1" a 3/8"						100	90a100	40a85	10a40	0a15	0a5		
57	1" a N°4						100	95a100		25a60		0a10	0a5	
6	3/4" a 3/8"							100	90a100	20a55	0a15	0a5		
67	3/4" a N°4							100	90a100		20a55	0a10	0a5	
7	1/2" a N°4								100	90a100	40a70	0a15	0a5	
8	3/8" a N°8									100	85a100	10a30	0a10	0a5

Fuente: Norma técnica peruana NTP 400.037.

Cuadro 5.3: Límites granulométricos del agregado global.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa		
	Tamaño nominal 37.5 mm (1 1/2")	Tamaño nominal 19 mm (3/4")	Tamaño nominal 9.5 mm (3/8")
50 mm (2")	100	-	-
37.5 mm (1 1/2")	95 a 100	100	-
19 mm (3/4")	45 a 80	95 a 100	-
12.5 mm (1/2")	-	-	100
9.5 mm (3/8")	-	-	95 a 100
4.75 mm (N°4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (N°8)	-	-	20 a 50
1.18 mm (N°16)	-	-	15 a 40
0.6 mm (N°30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
0.3 mm (N°50)	-	-	5 a 15
0.15 mm (N°100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

* Incrementar a 10% para los finos de roca triturada
Fuente: Norma técnica peruana NTP 400.037.

Una propiedad que puede extraerse del análisis granulométrico y que es característico de cada material es el Tamaño Máximo y el Tamaño Nominal Máximo del agregado. El primero corresponde a la malla más pequeña por la que pasa toda la muestra de agregado, mientras que el segundo corresponde a la malla más pequeña que produce el primer retenido.

MODULO DE FINURA (NTP 400.012)

El módulo de finura es un número adimensional que representa un tamaño promedio ponderado de la muestra de agregado, pero no representa la distribución de las partículas. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100; dividida entre 100.

Los agregados que presentan un módulo de finura bajo indican mayor presencia de las partículas más finas.

$$M.F. = \frac{\%Ra_{3"} + \%Ra_{1\ 1/2"} + \%Ra_{3/4"} + \%Ra_{3/8"} + \%Ra_{N^{\circ}4} + \%Ra_{N^{\circ}8} + \%Ra_{N^{\circ}16} + \%Ra_{N^{\circ}30} + \%Ra_{N^{\circ}50} + \%Ra_{N^{\circ}100}}{100}$$

Donde:

M.F. = Módulo de Finura
%Ra = Porcentaje retenido acumulado

SUPERFICIE ESPECÍFICA (NTP 400.012)

La superficie específica de una partícula de agregado es el área superficial de la misma. Se expresa como área por unidad de masa (cm²/gr). La superficie específica de un conjunto de partículas es la suma de las áreas superficiales de las mismas.

Para calcular la superficie específica del agregado se divide, para cada tamiz, el porcentaje retenido en ellos entre el valor del diámetro medio. La superficie específica del conjunto se calcula por la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie Específica} = \frac{6 \times E}{10 \times PE}$$

Donde:
 E = Sumatoria de los valores obtenidos de dividir el porcentaje retenido en cada tamiz entre el valor del diámetro medio (mm.)
 PE = Peso específico de masa del agregado

MATERIAL QUE PASA LA MALLA 200

Es el material cuyo tamaño es menor a la abertura del tamiz N°200, se puede presentar en el agregado en forma de revestimiento superficial o en partículas sueltas. Las normas establecen límites para la presencia del material que pasa la malla N°200:

Agregado Fino

- Concretos sujetos a abrasión < 3%
- Otros Concretos < 5%

Agregado Grueso

- En general < 1%

5.1.2 RESUMEN DE PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

a) AGREGADO FINO

Cuadro 5.4: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino.

Procedencia: Cantera Trapiche	
Peso Unitario Suelto	1.70 gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.85 gr/cm ³

Peso Especifico de Masa	2.6695 gr/cm ³
Peso Especifico Aparente	2.7202 gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Sat.Sup.Seco	2.6882 gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	0.70 %
Contenido de Humedad	1.22 %
Modulo de Finura	3.07
Superficie Especifica	39.2
Material que pasa la malla N°200	4.45

Fuente: Elaboración propia.

b) AGREGADO GRUESO

Cuadro 5.5: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso.

Procedencia: Cantera Gloria	
Peso Unitario Suelto	1.42 gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.55 gr/cm ³
Peso Especifico de Masa	2.6538 gr/cm ³
Peso Especifico Aparente	2.7346 gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Sat.Sup.Seco	2.6834 gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	1.04 %
Contenido de Humedad	0.52 %
Modulo de Finura	6.87
Superficie Especifica	1.8
Tamaño Máximo	1"
Tamaño Nominal Máximo	3/4"

Fuente: Elaboración propia.

c) AGREGADO GLOBAL

Cuadro 5.6: Resumen de las propiedades físicas del agregado global.

% Agregado grueso	52 %
% Agregado fino	48 %
Modulo de Finura	5.05
Tamaño Nominal Máximo	3/4"

Fuente: Elaboración propia.

5.2 CEMENTO

Los cementos utilizados en la presente investigación son los siguientes:

- a) El "Cemento Portland tipo ICo" proviene de la Planta de CALIZA CEMENTO INCA S.A. y sus características principales son:

Cuadro 5.7: Especificaciones técnicas del Cemento Inka tipo ICo.

CEMENTO PORTLAND TIPO I CO			
Norma ASTM C 595 - NTP 334.090 Producto obtenido de la molienda de clinker con adición de microfiller calizo			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CEMENTO PORTLAND TIPO ICo			
NORMA TÉCNICA	ASTM C 595 - NTP 334.090		
MARCA COMERCIAL	INKA		
PRESENTACIÓN	BOLSAS DE 42.5 kg.		
01 ANÁLISIS QUÍMICO	VALORES	NTP 334.090 , ASTM C-595 CEMENTO PORTLAND TIPO ICo REQUISITOS	
DIÓXIDO DE SÍLICE (SiO ₂)	%	18.80	
OXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	%	5.30	
OXIDO DE FIERRO (Fe ₂ O ₃)	%	3.01	
OXIDO DE CALCIO (CaO)	%	62.62	
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)	%	0.88	MÁX. 6.00%
TRÍOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)	%	3.01	MÁX. 4.00%
PERDIDA POR IGNICIÓN (P.I.)	%	5.14	MÁX. 8.00%
INSOLUBLES	%	0.56	
02 PROPIEDADES FÍSICAS			
CONTENIDO DE AIRE % VOL.		6	MÁX. 12%
SUPERFICIE ESPECIFICA BLAINE cm ² /g.		3997	
EXPANSIÓN AUTOCLAVE %		0.08	MÁX. 0.80%
DENSIDAD g/cm ³		3.01	
FRAGUADO VICAT INICIAL (min.)		127	MIN. 45 min.

FRAGUADO VICAT FINAL (min.)	359	MÁX.	420 min.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)			
24 HORAS	130		
3 DÍAS	235	MIN.	133 Kg / cm ²
7 DÍAS	284	MIN.	204 Kg / cm ²
28 DÍAS	346	MIN.	255 Kg / cm ²

Fuente: Caliza Cemento Inca S.A. "Información de Control de Calidad del Cemento Inka", 2011.¹¹

b) El "Cemento Portland tipo I" proviene de la Planta de CEMENTOS LIMA S.A. y sus características principales son:

Cuadro 5.8: Especificaciones técnicas del Cemento Sol tipo I.

CEMENTO PORTLAND TIPO I	
Norma ASTM C - 150 - NTP 334.009 Producto obtenido de la molienda de clinker	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CEMENTO PORTLAND TIPO I	
NORMA TÉCNICA	ASTM C - 150 NTP 334.009
MARCA COMERCIAL	SOL
PRESENTACIÓN	BOLSAS DE 42.5 kg.

ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO		ENSAYOS FÍSICOS TÍPICOS	
SiO ₂	20.11		
Al ₂ O ₃	6.08	Superficie Especifica Blaine (cm ² /gr)	3321
Fe ₂ O ₃	2.90	Contenido de aire	9.03%
CaO	62.94	Exp. autoclave	0.18%
MgO	3.04	Peso específico (gr/cm ³)	3.15
SO ₃	2.67		
K ₂ O	0.95	Fraguado Vicat Inicial (min)	140 m
Na ₂ O	0.28	Fraguado Vicat Final (min)	284 m
P.I.	0.76		
TOTAL	99.71		
		Resistencia a la compresión (Mpa)	
CaO Libre	0.34	3 días	24.61
Alcalis Total (Na ₂ O Equiv.)	0.90	7 días	31.68

COMPUESTOS Clinker Tipo I	
C3S	57.12
C2S	15.01
C3A	12.05
C4AF	9.02

Fuente: Cementos Lima S.A. "Información de Control de Calidad del Cemento Sol", 2011.¹²

5.3 AGUA

AGUA PARA MEZCLA

En muchas especificaciones, la calidad del agua de la mezcla se considera óptima si es que ésta es apta para beber. Esta agua muy rara vez contendrá sólidos disueltos por sobre las 2000 ppm y por lo general menos de 1000 ppm para una relación de agua/cemento de 0.5 por masa, el segundo contenido corresponde a una cantidad de sólidos igual a 0.05% de la masa de cemento así cualquier efecto de los sólidos comunes (considerados como agregado) sería pequeño.

El criterio de potabilidad del agua no es absoluto; el agua para beber puede no ser adecuada para mezcla cuando tenga una concentración alta de sodio o potasio, por el peligro de una reacción álcali-agregado.

El agua potable es por lo general segura, pero también la no potable suele ser adecuada para elaborar concreto. Como regla, cualquier agua con un PH (grado de acidez) de 6.0 a 8.0 que no sea salada o salubre es útil; el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas. Las aguas naturales ligeramente ácidas son inofensivas, pero los que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos pueden afectar negativamente el endurecimiento del concreto; estas aguas así como las muy alcalinas deberán ser probadas previamente.

AGUA PARA CURADO

En general, el agua que es adecuada para la mezcla también lo es para el curado; sin embargo, el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas, especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora con rapidez. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier agua adecuada para mezcla, incluso de calidad ligeramente menor, es adecuada para el curado; pero, es esencial que esté exenta de sustancias que ataquen al concreto endurecido, por ejemplo el CO₂ libre. El fluir del agua pura, proveniente de deshielo o de condensación, con poco CO₂, disuelve el Ca(OH)₂ y provoca erosión de la superficie. El curado con agua de mar puede atacar el refuerzo.

La Norma NTP 339.088 establece como requisitos para agua de mezcla y curado los siguientes parámetros:

Cuadro 5.9: Requisitos para agua de mezcla y curado.

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total expresada en NaHCO ₃)	1000 ppm máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	600 ppm máximo
Cloruros (Ión Cl)	1000 ppm máximo
PH	Entre 5.5 y 8

Fuente: Norma técnica peruana NTP 339.088.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A UTILIZAR

El agua empleada en esta tesis para la fabricación de concreto y para el curado, fue la distribuida por el servicio de agua potable que abastece al Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM – UNI).

Capítulo **VI**

DISEÑO DE MEZCLAS

6.1 GENERALIDADES

Una mezcla de concreto se diseña para producir concreto que pueda ser colocado fácilmente al menor costo. Proceso por el cual se busca obtener la mejor dosificación de los materiales componentes del concreto, para lograrlo se tiene en cuenta los requerimientos técnicos de cada proyecto.

Actualmente existen numerosos métodos de diseño de concreto, todos ellos con resultados diferentes pues han sido creados en base a experiencias, materiales disponibles y condiciones propias del lugar donde se originó dicho método y que al ser aplicados en otros lugares genera variabilidad en los resultados. Por ello, el método de diseño de concreto que se adopte debe ser usado como referencia o punto de inicio en pruebas que busquen obtener la mezcla de concreto que se ajuste a nuestras necesidades.

6.1.1 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezcla del concreto patrón normal, utilizado en la presente tesis, tomo como referencia las recomendaciones proporcionadas por el método de diseño de concreto del ACI, tales como: Contenido de aire aproximado y la cantidad de agua inicial.

La proporción de los agregados en la mezcla de concreto se obtuvo en base al criterio de máxima compactación, para ello se realizaron distintas combinaciones de agregado grueso y fino obteniéndose el Peso Unitario Compactado (PUC) de cada una. La combinación que presente el máximo PUC es la que tiene menor cantidad de vacíos ya que puede contener una mayor cantidad de material en el mismo volumen donde fueron ensayadas todas las combinaciones. Los vacíos presentes en la mezcla de agregado serán rellenados por pasta de cemento (agua + cemento), por ello al utilizar la combinación con la menor cantidad de vacíos o máximo PUC se obtendrá una mezcla de concreto con la mínima cantidad de pasta y por lo tanto una mezcla más económica.

Diseñaremos mezclas de concreto patrón con relación agua/cemento (a/c) en peso de: 0.45, 0.55 y 0.60, y con asentamiento de 3 – 4 pulgadas, valores usuales en los concretos normales fabricados en el Perú y que se fija para la presente investigación.

6.1.2 AGREGADO GLOBAL

Pasos seguidos en el diseño de mezcla:

PASO 1.- Selección de la combinación de agregado grueso y fino que produzca la mejor compacidad.

Para lograr dicho objetivo se trabajó utilizando el Peso Unitario Compactado PUC (ver gráfico 6.1), para distintas combinaciones de agregado grueso y fino en pasos de 5%. La combinación seleccionada fue la que generó el mayor PUC (menor cantidad de vacíos).

Cuadro 6.1: Resultados de ensayo de compacidad.

Mezcla de Agregados				P.U.C. (kg/m ³)
%		A/P	A/P	
A	P	A/P	A/P	
40	60	0.67	40/60	1951.72
45	55	0.82	45/55	1958.79
50	50	1.00	50/50	1964.67
55	45	1.22	55/45	1955.26
60	40	1.50	60/40	1939.95

A=Arena
P=Piedra

Fuente: Elaboración propia.

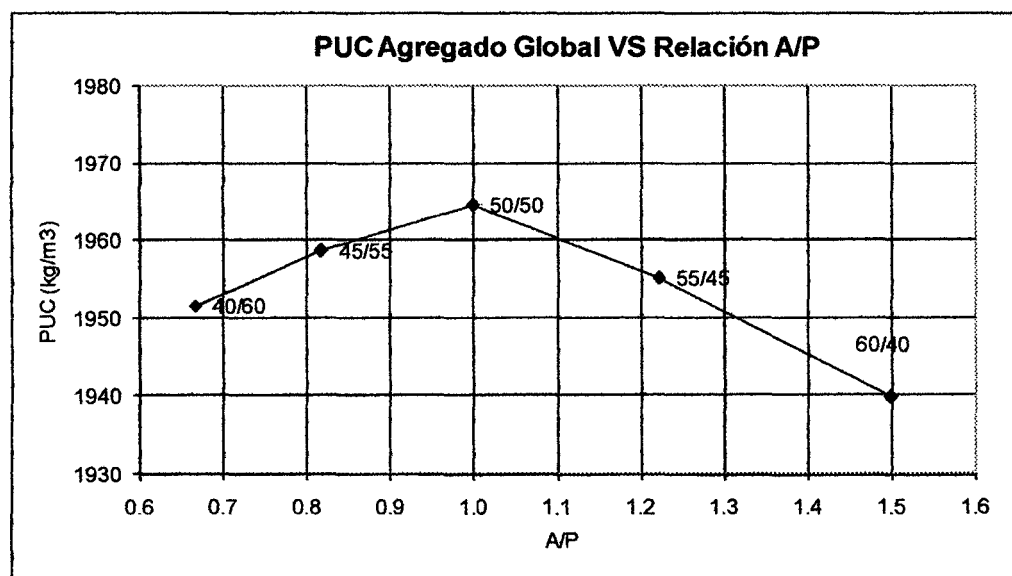


Gráfico 6.1: Peso unitario compactado del agregado global.

PASO 2.- Con la relación A/P seleccionada (50/50) se procede a encontrar la cantidad de agua necesaria para lograr un asentamiento de 3 1/2 pulgadas (valor medio entre 3 y 4.) en la mezcla de concreto. Esto se consigue generando mezclas con igual relación a/c en peso pero distintas cantidades de agua; cada una tendrá un asentamiento distinto que se incrementa a medida que se introduce más agua a la mezcla. El procedimiento de cálculo de las dosificaciones y los datos asumidos inicialmente tales como contenido de aire y agua inicial, se detallan en el anexo 2.3. Con estos datos se genera una curva Asentamiento vs. Agua y con ella se puede hallar fácilmente la cantidad de agua necesaria para obtener el asentamiento requerido.

La primera relación a/c utilizada fue 0.55 generándose la curva del gráfico 6.2. Se puede notar que la cantidad de agua requerida para cumplir el asentamiento es 230 l/m³ de concreto.

Cuadro 6.2: Asentamiento dado por cantidad de agua para diseño de mezcla a/c=0.55.

Agua (l/m ³ de conc)	Asentamiento (pulg)
193	1 1/4"
213	2 3/4"
238	3 3/4"

Fuente: Elaboración propia.

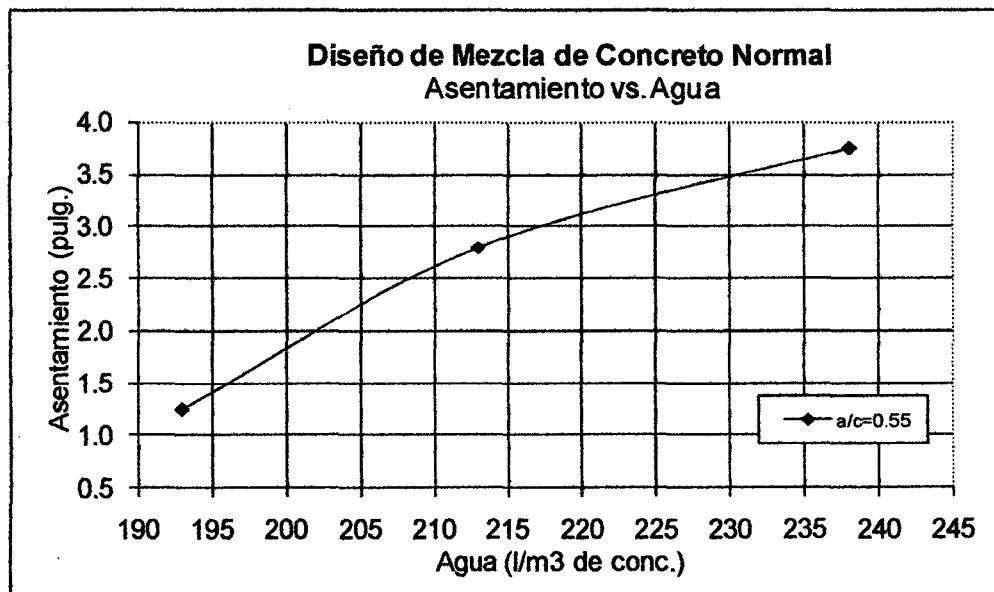


Gráfico 6.2: Cantidad de agua requerida para diseño de mezcla con a/c=0.55.

PASO 3.- Luego de hallar la relación A/P y el agua necesaria para obtener un asentamiento de 3 1/2 pulg. en una relación a/c en peso de 0.55, se procede a ajustar la relación A/P mediante la generación de dos combinaciones adicionales alrededor de la elegida anteriormente pero ahora con pasos de 2%.

El criterio para elegir la mejor combinación será la resistencia en compresión de probetas cilíndricas de concreto a los 7 días (ver gráfico 6.3).

Cuadro 6.3: Ensayo a compresión para los porcentaje de agregado.

Mezcla de Agregados				P.U.C. (kg/m ³)
%		A/P		
A	P	A/P	A/P	
40	60	0.67	40/60	1951.72
45	55	0.82	45/55	1958.79
50	50	1.00	50/50	1964.67
55	45	1.22	55/45	1955.26
60	40	1.50	60/40	1939.95

Mezcla de Agregados				Resist. Comp. 7d (kg/cm ²)
%		A/P		
A	P	A/P	A/P	
48	52	0.92	48/52	218.5
50	50	1.00	50/50	231.5
52	48	1.08	52/48	209.5

Fuente: Elaboración propia.

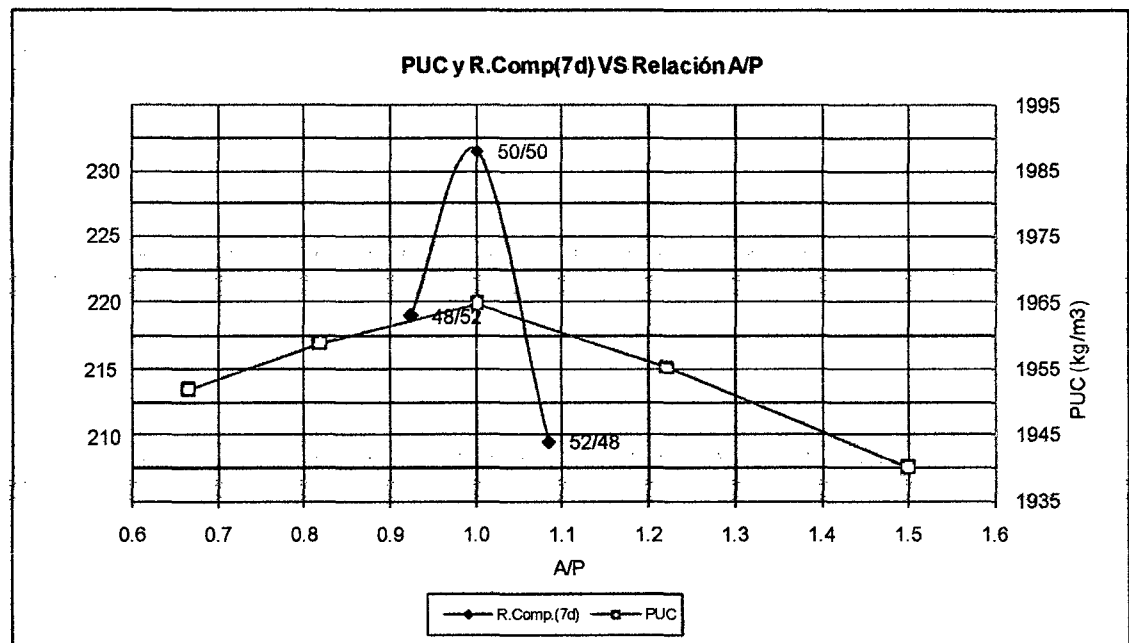


Gráfico 6.3: Superposición de gráficas del P.U.C y la resistencia.

6.1 DISEÑO DE MEZCLAS PATRÓN

PASO 4.- Con la combinación de agregados fijada $A/P=50/50$, se procede a calcular las cantidades de agua necesarias para producir un concreto patrón con el asentamiento deseado en las relaciones $a/c=0.60$ y 0.45 . El procedimiento es el mismo al utilizado para la relación $a/c=0.55$. Las dosificaciones de las mezclas de prueba y las mezclas definitivas se hallan en el anexo 2.4 y 2.5.

Las curvas generadas fueron:

Cuadro 6.4: Cantidad de agua requerida según a/c para los diseños de mezcla.

a/c=0.55			a/c=0.60			a/c=0.45		
Cantidad de Agua (l)	Asentamiento (pulg)		Cantidad de Agua (l)	Asentamiento (pulg)		Cantidad de Agua (l)	Asentamiento (pulg)	
193	1.25	1 1/4	215	2.00	2	235	2.75	2 3/4
213	2.75	2 3/4	235	5.00	5	255	4.25	4 1/4
238	3.75	3 3/4						

Fuente: Elaboración propia.

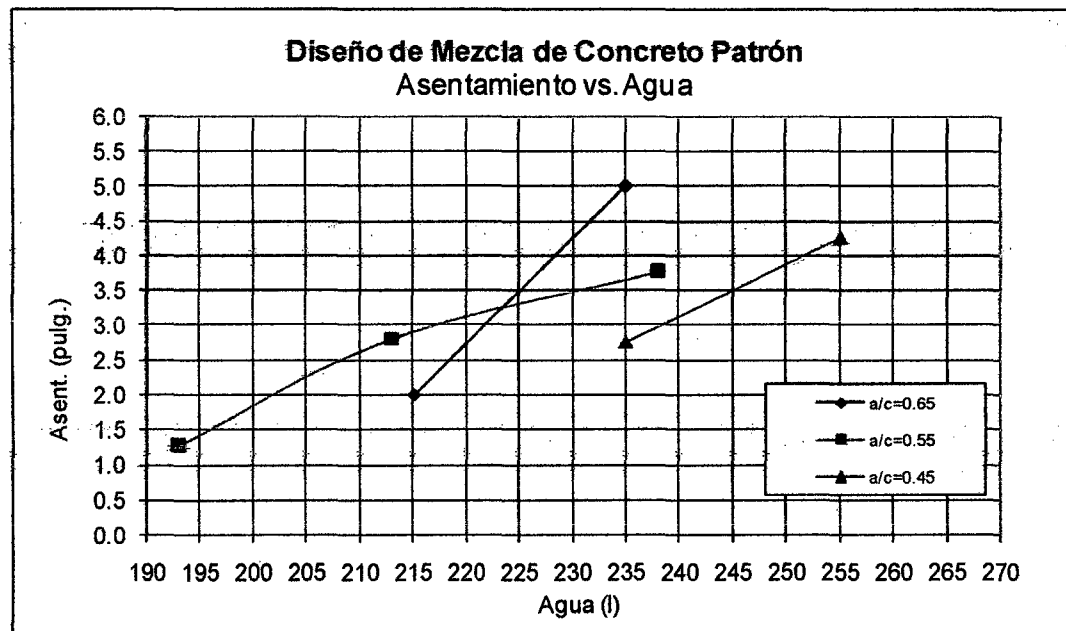


Gráfico 6.4: Cantidad de agua requerida según a/c para los diseños de mezcla.

Cuadro 6.5: Cantidad de agua requerida según a/c para slump 3.5".

Relación a/c	Cantidad de Agua (l/m ³ de concreto)
0.60	225
0.55	230
0.45	245

Fuente: Elaboración propia.

PASO 5.- Con la cantidad de agua seleccionada para cada relación agua/cemento se procede a calcular las dosificaciones de los materiales necesarios para la mezcla de concreto patrón normal.

6.2.1 PROPORCIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Cuadro 6.6: Diseños de mezcla patrón según a/c con Cemento Inka tipo ICo.

1- DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN CON CEMENTO INKA TIPO ICo				
1.A - RELACIÓN A/C = 0.60.- (50% Piedra / 50% Arena)				
DISEÑO SECO				
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	375.00	0.124	1.00
	Agua	225.00	0.225	0.60
a/c: 0.60	Arena	851.75	0.321	2.27
	Piedra	851.76	0.315	2.27
Agua(l): 225	Aire		0.015	
	TOTAL	2303.51		
1.B - RELACIÓN A/C = 0.55.- (50% Piedra / 50% Arena)				
DISEÑO SECO				
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	418.18	0.138	1.00
	Agua	230.00	0.230	0.55
a/c: 0.55	Arena	825.90	0.312	1.97
	Piedra	825.91	0.305	1.97
Agua(l): 230	Aire		0.015	
	TOTAL	2299.99		
1.C - RELACIÓN A/C = 0.45.- (50% Piedra / 50% Arena)				
DISEÑO SECO				
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	544.44	0.180	1.00
	Agua	245.00	0.245	0.45
a/c: 0.45	Arena	749.80	0.283	1.38
	Piedra	749.81	0.277	1.38
Agua(l): 245	Aire		0.015	
	TOTAL	2289.05		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.7: Diseños de mezcla patrón según a/c con Cemento Sol tipo I.

2- DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN CON CEMENTO SOL TIPO I

2.A - RELACIÓN A/C = 0.60.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	375.00	0.119	1.00
	Agua	225.00	0.225	0.60
a/c: 0.60	Arena	858.11	0.324	2.29
	Piedra	858.12	0.317	2.29
Agua(l): 225	Aire		0.015	
	TOTAL	2316.22		

2.B - RELACIÓN A/C = 0.55.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	418.18	0.133	1.00
	Agua	230.00	0.230	0.55
a/c: 0.55	Arena	832.99	0.314	1.99
	Piedra	833.00	0.308	1.99
Agua(l): 230	Aire		0.015	
	TOTAL	2314.16		

2.C - RELACIÓN A/C = 0.45.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	544.44	0.173	1.00
	Agua	245.00	0.245	0.45
a/c: 0.45	Arena	759.03	0.286	1.39
	Piedra	759.03	0.280	1.39
Agua(l): 245	Aire		0.015	
	TOTAL	2307.50		

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo **VII**

PROPIEDADES DEL CONCRETO

En este capítulo presentamos la teoría y resultados de las propiedades del concreto que fueron ensayadas en las mezclas de concreto elaboradas con Cemento Inka Tipo ICo y Cemento Sol Tipo I, tanto al estado fresco como al estado endurecido. Dichas propiedades generalmente son medidas para los concretos normales.

Para comprobar el buen desempeño de estas mezclas y además la variación en el comportamiento de las mismas se ensayó en cada una de sus propiedades. Los ensayos en los que se trabajó de esa forma son: Consistencia, Peso Unitario, Contenido de Aire, Fluidéz, Exudación, Tiempo de fraguado, valor de PH y Temperatura de la mezcla en el estado fresco. En el estado endurecido se trabajó en los ensayos de Resistencia a la compresión, Resistencia a la tracción por compresión diametral, Resistencia a la flexión y Porcentaje de absorción del concreto.

7.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

7.1.1 CONSISTENCIA

Según la norma (NTP 339.035, ASTM C143). Se denomina consistencia a la resistencia que opone una mezcla de concreto a sufrir deformaciones y se mide mediante el Ensayo de Asentamiento o Slump en el "Cono de Abrams", prueba sencilla que se puede realizar tanto en laboratorio como en el campo y consiste en llenar un recipiente tronco cónico en tres capas de igual volumen compactadas cada una de ellas con 25 golpes de varilla lisa metálica normada, luego se procede a levantar dicho recipiente y se mide el asentamiento o descenso que sufrió la mezcla con respecto a la altura del cono.

La consistencia es uno de los principales indicadores de trabajabilidad de los concretos, pero no el único, por ejemplo pueden existir dos mezclas de igual consistencia (asentamiento) pero no necesariamente de igual trabajabilidad, porque pueden tener distinta viscosidad e incluso resistencia a la segregación.

El ensayo de asentamiento es usado como herramienta para el diseño de mezcla de concretos normales y concretos de alto desempeño. La búsqueda de un asentamiento fijo para una resistencia mecánica dada, se logra mediante cambios en la dosificación de la mezcla de concreto hasta lograr el objetivo deseado.

Por la consistencia los concretos pueden agruparse como:

Consistencia	Asentamiento
Rígidos	< 2"
Plásticos	2" - 4"
Blandos	4" - 6"
Fluidos	> 6"

En concretos de consistencia normal (Plásticos y blandos), es común medir solamente los asentamientos, sin embargo en mezcla fluidas, además del asentamiento, también se mide la extensión que alcanzó el flujo de la mezcla.

Cuadro 7.1: Resumen del ensayo de Asentamiento normal del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	ASENTAMIENTO (pulg)	NÚMERO DE MEDICIONES
INKA TIPO ICo	0.45	4.25	10
	0.55	4.00	10
	0.60	4.00	10
SOL TIPO I	0.45	3.25	10
	0.55	3.50	10
	0.60	3.50	10

Fuente: Elaboración propia.

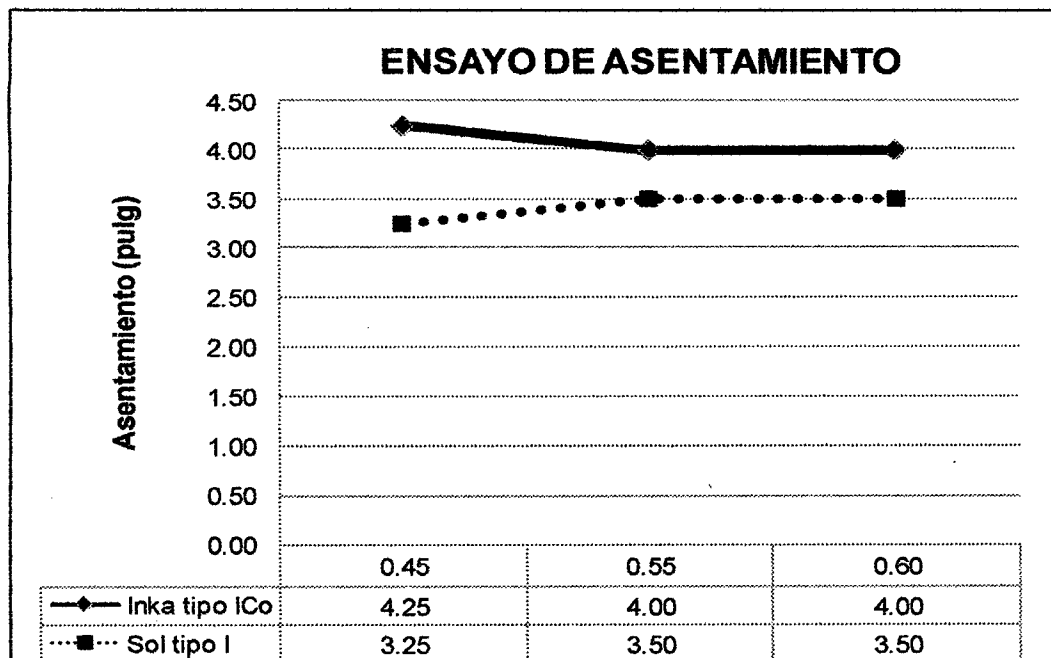


Gráfico 7.1: Ensayo de Asentamiento del Concreto.

En el cuadro 8.1 se muestra el porcentaje de variación del asentamiento con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

7.1.2 PESO UNITARIO

Según la norma (NTP 339.046, ASTM C138). El peso unitario de un concreto es la relación entre el peso de un concreto fresco compactado y el volumen del recipiente que lo contiene, es decir nos indica cual es el peso del concreto por unidad de volumen. El procedimiento de dicho ensayo es muy simple se compacta una muestra de concreto fresco de la misma manera que en el ensayo de asentamiento en un recipiente normado, posteriormente se pesa dicha muestra y se divide el peso de ésta entre el volumen del recipiente.

El peso unitario real del concreto generalmente no es igual al peso unitario teórico obtenido del diseño de mezcla, por lo tanto este ensayo es una manera de controlar la uniformidad del concreto y de sus materiales componentes.

Cuadro 7.2: Resumen del ensayo de Peso Unitario del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	PESO UNITARIO (kg/m ³)
INKA TIPO ICo	0.45	2292.7
	0.55	2308.6
	0.60	2315.7
SOL TIPO I	0.45	2317.8
	0.55	2327.6
	0.60	2332.9

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.2 se muestra el porcentaje de variación del Peso unitario con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

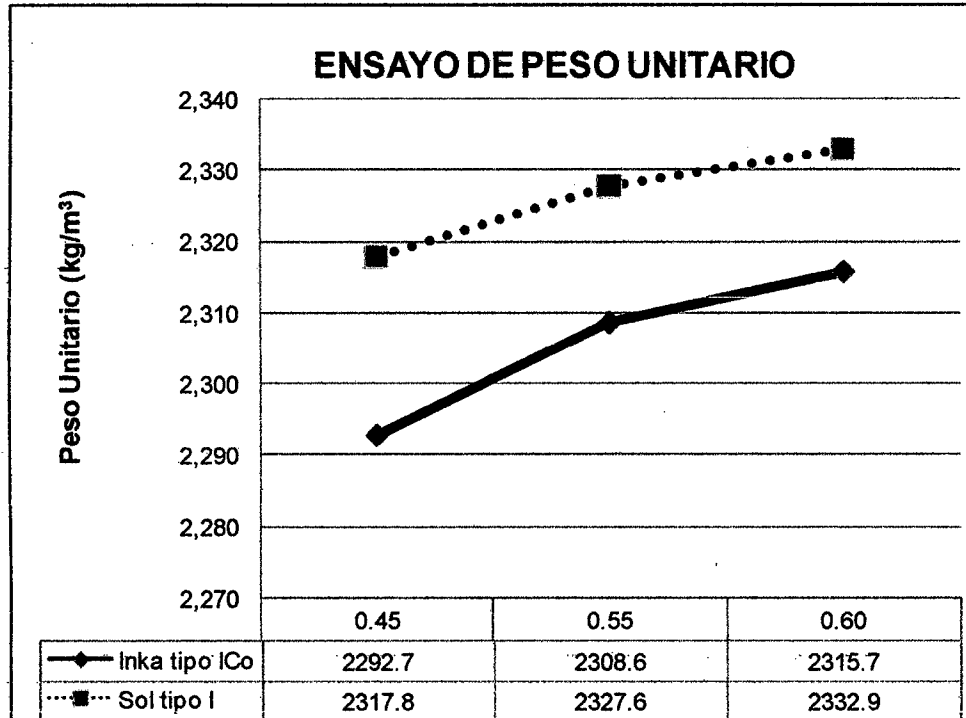


Gráfico 7.2: Ensayo de Peso Unitario del Concreto.

7.1.3 CONTENIDO DE AIRE

Según la norma (NTP 339.046, ASTM C138). El contenido de aire de un concreto indica la cantidad de vacíos presentes internamente en toda la masa de concreto. El método de gravimétrico fue el usado para hallar el contenido de aire, para ello se utiliza los pesos unitarios reales (obtenidos por ensayo) y teóricos (obtenido del diseño de mezcla), y por comparación de volúmenes obtenidos se tiene el contenido de aire de la mezcla de concreto.

Cuadro 7.3: Resumen del ensayo de Contenido de Aire del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	PORCENTAJE DE AIRE (%)
INKA TIPO ICo	0.45	1.06
	0.55	0.93
	0.60	0.79
SOL TIPO I	0.45	1.19
	0.55	1.01
	0.60	0.87

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.3 se muestra el porcentaje de variación del Contenido de aire con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

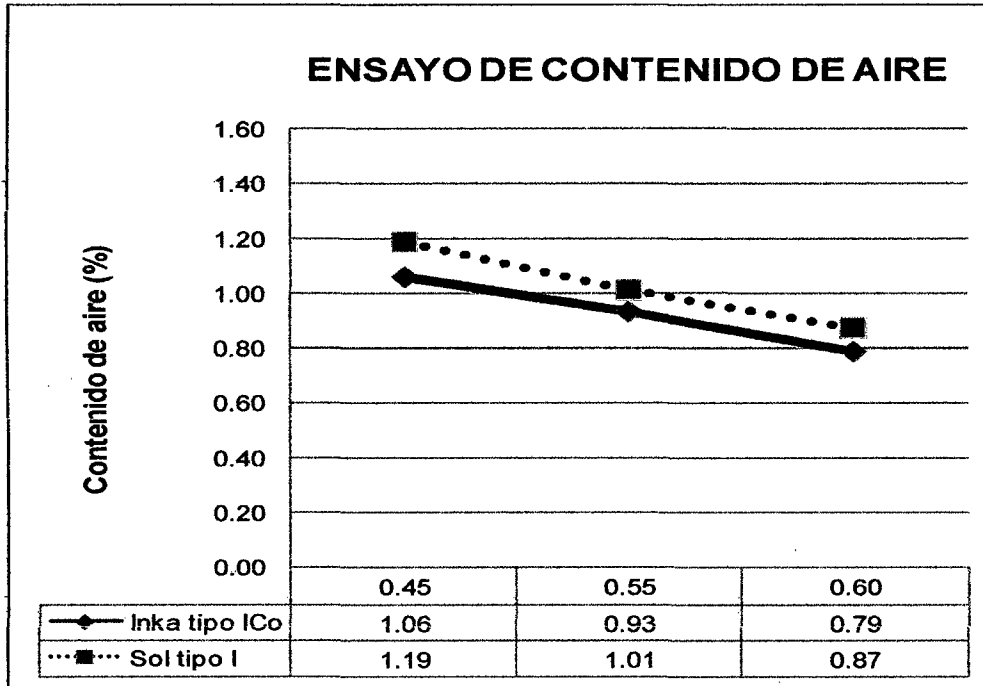


Gráfico 7.3: Ensayo de Contenido de Aire del Concreto.

7.1.4 FLUIDEZ

Según la norma (NTP 339.046, ASTM C138). Este ensayo tiene como objetivo la determinación del flujo del concreto y permite obtener un índice de consistencia de la mezcla y su tendencia a la segregación por la medición de la expansión del concreto.

El ensayo de mesa de flujo no mide la trabajabilidad, por lo tanto un concreto con igual flujo, puede diferir en su trabajabilidad.

Los instrumentos utilizados en este ensayo son:

Una mesa de bronce de 30" de diámetro de modo que pueda realizar saltos de 1/2".

Un tronco de cono donde se colocará centrado en la mesa y se colocará el concreto en dos capas.

Una varilla de 5/8" que ayudará a la compactación.

La masa se dejará caer 1/2", 15 veces en 15 segundos a una velocidad constante. El salto aplicado produce segregación y si la mezcla no es cohesiva,

las partículas más grandes del agregado se separarán y se moverán al extremo de la mesa. Luego, se registrará 6 lecturas del diámetro extendido distribuida simétricamente.

$$Flujo (\%) = \frac{(D - 25) \times 100}{25}$$

Donde:

D = Diámetro expandido, promedio de 6 mediciones (cm).

Cuadro 7.4: Resumen del ensayo de Fluidez del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	FLUIDEZ (%)
INKA TIPO ICo	0.45	92.67
	0.55	92.00
	0.60	90.00
SOL TIPO I	0.45	87.67
	0.55	89.33
	0.60	90.00

Fuente: Elaboración propia.

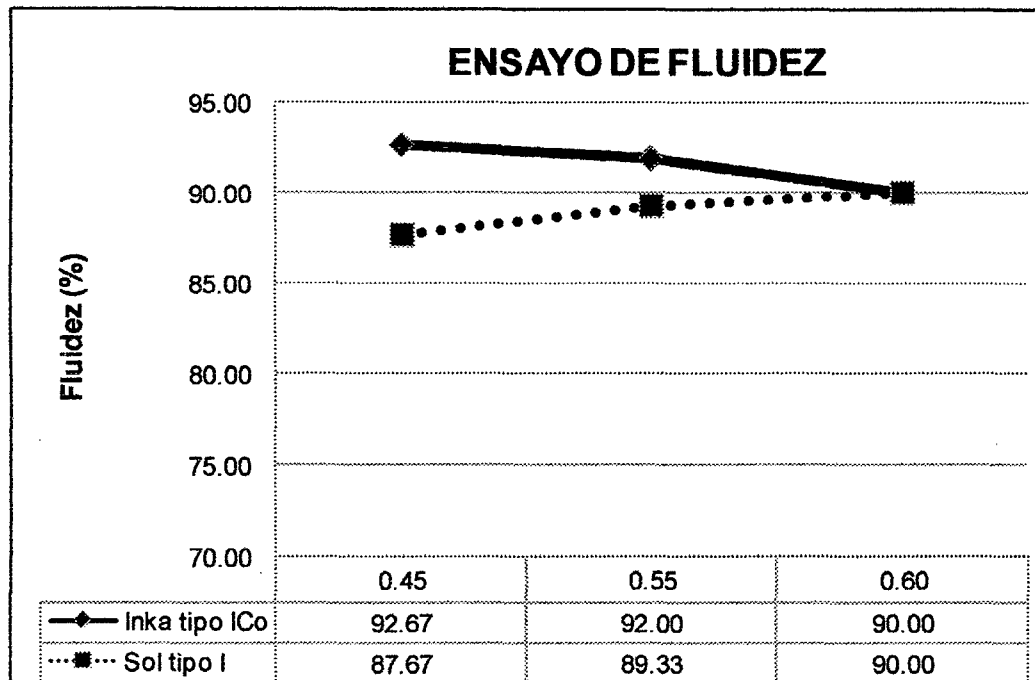


Gráfico 7.4: Ensayo de Porcentaje de Fluidez del Concreto.

En el cuadro 8.4 se muestra el porcentaje de variación de la Fluidez con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

7.1.5 EXUDACIÓN

Según la norma (NTP 339.077, ASTM C232). La exudación del concreto es aquel tipo de segregación por el cual parte del agua utilizada en el diseño de mezcla asciende a la superficie del concreto recién colocado.

En las mezclas de concreto, si el agua de exudación es abundante entonces el recorrido de este material desde el interior de la mezcla hasta la superficie expuesta del concreto fresco provocará una mezcla porosa y débil, llena de vacíos y poco durable. Por el contrario si el agua de exudación es escasa y la tasa de evaporación del agua en el medio ambiente en que se trabaja es mayor a la tasa de exudación del concreto, entonces se generarán superficies secas y con ello grietas por contracción en el concreto.

El porcentaje y la tasa de exudación en los concretos normales es mayor si se compara con los concretos de alto desempeño que han sufrido reducciones de agua para lograr relaciones a/c más bajas y con ello resistencias mecánicas más altas, por ello en los concretos de alto desempeño el proceso de curado debe ser más cuidadoso que en los concretos normales pues la probabilidad de sufrir contracciones por secado es mayor.

El procedimiento de cálculo del porcentaje de exudación es muy simple, en un recipiente normado se coloca una muestra de concreto fresco, y se va tomando las cantidades de agua que exuda a intervalos de tiempo determinados para obtener la tasa de exudación, con el total de agua exudada se calcula el porcentaje total de agua de exudación con respecto a la masa inicial del concreto.

En el cuadro 8.5 se muestra el porcentaje de variación de Exudación con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Cuadro 7.5: Resumen del ensayo de Exudación del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	A/C	EXUDACIÓN (%)
INKA TIPO ICo	0.45	1.14
	0.55	1.42
	0.60	1.63
SOL TIPO I	0.45	1.55
	0.55	1.91
	0.60	2.33

Fuente: Elaboración propia.

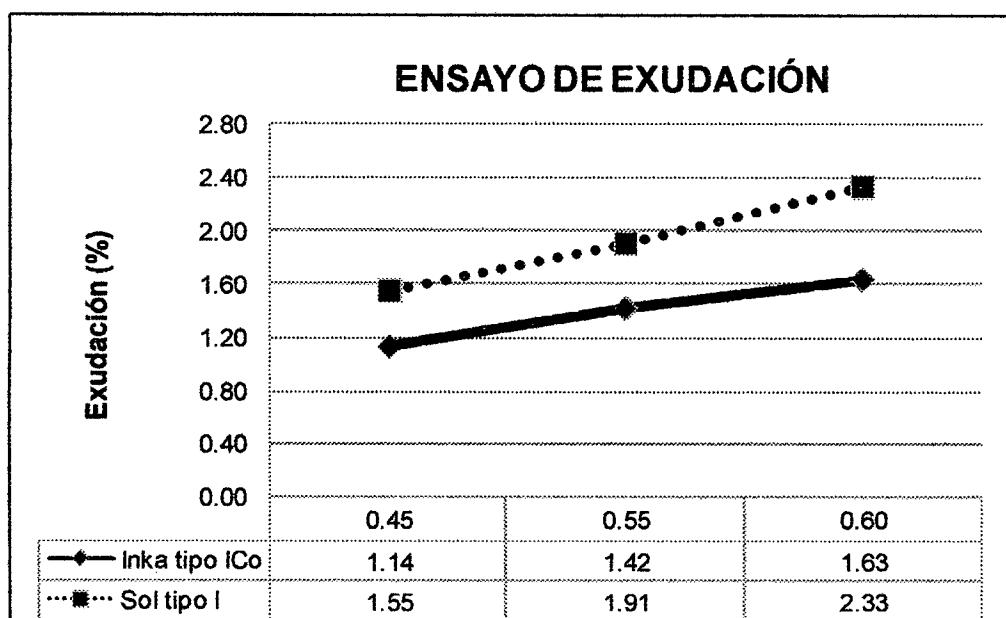


Gráfico 7.5: Ensayo de Porcentaje de Exudación del Concreto.

7.1.6 TIEMPO DE FRAGUADO

Según la norma (NTP 339.082, ASTM C403). Las mezclas de concreto mantienen su trabajabilidad durante cierto tiempo luego del cual empiezan a perder esa plasticidad que las caracteriza, a ese proceso se denomina fragua del concreto y el tiempo en el que se desarrolla está caracterizado por: el Tiempo de Fragua Inicial, tiempo en el cual el concreto empieza a perder la plasticidad que la caracteriza; y el Tiempo de Fragua Final, en el que la mezcla de concreto ya perdió toda capacidad de deformación.

Este ensayo es muy importante porque le da al constructor el tiempo que dispone para el proceso de vaciado y acabado del concreto, los resultados obtenidos serían de mucha ayuda en las discusiones comunes de obra entre el supervisor y el contratista sobre la habilidad del concreto luego de transcurrido el tiempo especificado, generados básicamente por el desconocimiento del comportamiento de dicho concreto.

Tanto el tiempo de fragua inicial como el final son hallados mediante un ensayo que consiste en calcular la resistencia a la penetración de agujas metálicas con áreas definidas en muestras de concreto fresco.

Cuadro 7.6: Resumen del ensayo de Tiempo de Fraguado del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	A/C	TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (h:m)	TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (h:m)
INKA TIPO ICo	0.45	03:35	04:50
	0.55	04:00	05:30
	0.60	04:10	05:30
SOL TIPO I	0.45	03:10	04:15
	0.55	04:00	05:35
	0.60	04:15	05:35

TIPO DE CEMENTO	A/C	TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (min)	TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (min)
INKA TIPO ICo	0.45	215	290
	0.55	240	330
	0.60	250	330
SOL TIPO I	0.45	190	255
	0.55	235	335
	0.60	255	335

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.6 se muestra el porcentaje de variación del Tiempo de fraguado inicial con respecto al concreto de referencia Sol tipo I, y en el cuadro 8.7 se muestra el porcentaje de variación del Tiempo de fraguado final con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

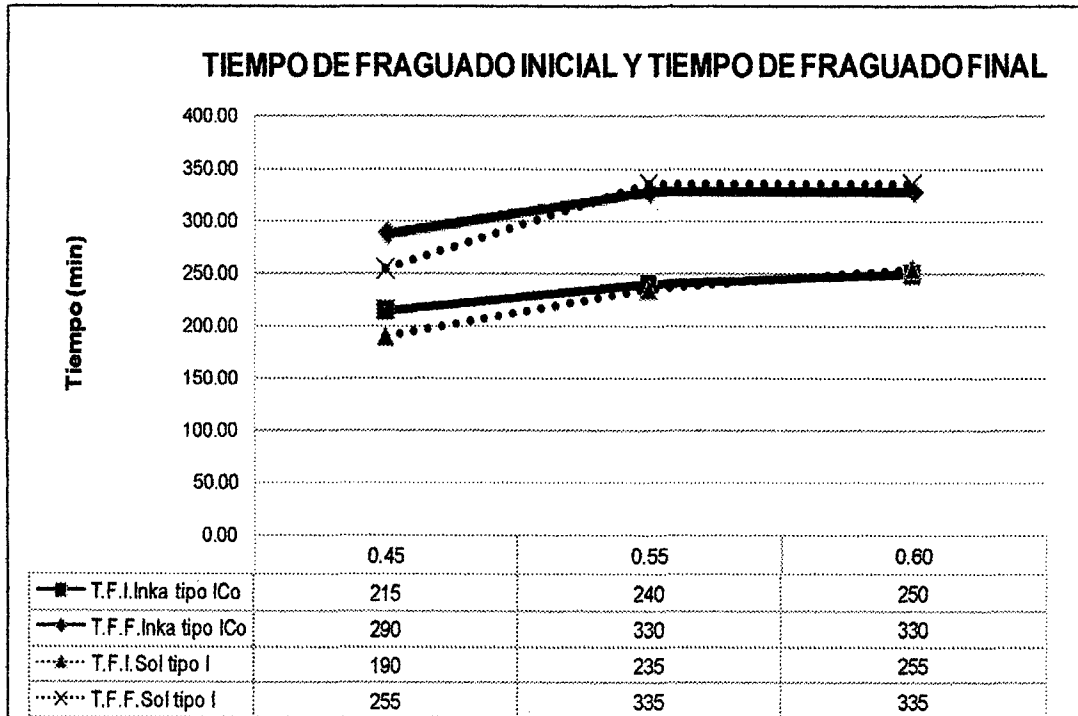


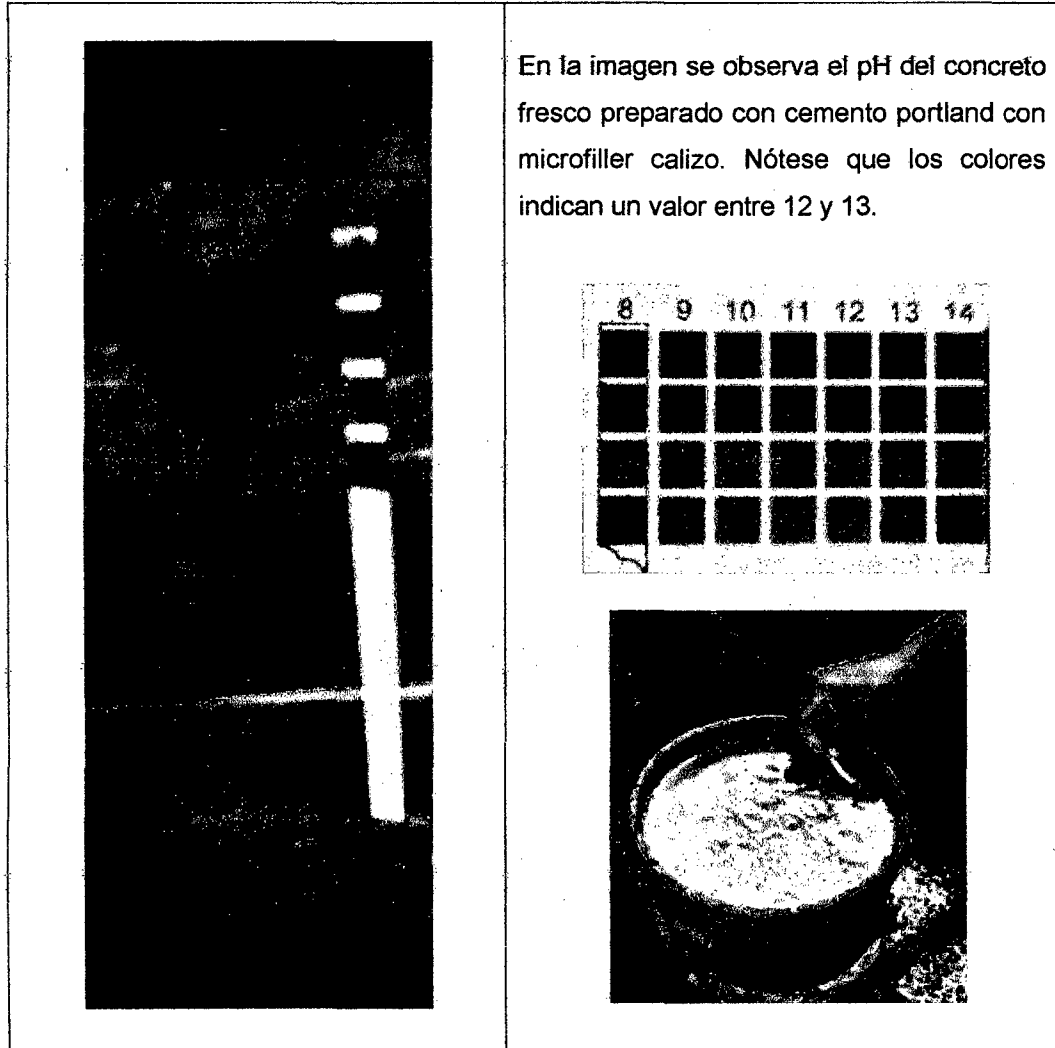
Gráfico 7.6: Ensayo de Tiempo de Fraguado del Concreto.

7.1.7 PH DEL CONCRETO

La mezcla de concreto tiene un elevado pH entre 12.5 a 13.5 y mantiene a las armaduras en estado pasivo, garantizando una protección química que prolonga su vida útil. Por otro lado, el concreto supone un impedimento físico a la penetración por difusión de oxígeno, humedad, cloruros, anhídrido carbónico y otras sustancias agresivas hasta la superficie del acero. Cuando estas condiciones no se satisfacen, el concreto se hace más permeable a agentes agresivos que ocasionan problemas de corrosión y causan su pronto deterioro.

Los agentes corrosivos como por ejemplo los cloruros pueden estar presentes desde el inicio en la mezcla de concreto fresco (disueltos en los agregados, en los aditivos o en el agua), por lo que el pH del concreto tiende a bajar y por ende el acero de refuerzo tiende a corroerse.

Se colocó el papel indicador de pH, en contacto con una parte húmeda del concreto fresco para medir el nivel de alcalinidad del concreto en estado fresco. Al poner éste papel automáticamente cambió de color y se midió el valor del pH. Se comparó los colores del papel húmedo con la cartilla de colores presente en la caja. La imagen se puede apreciar en la fotografía.



En la imagen se observa el pH del concreto fresco preparado con cemento portland con microfiller calizo. Nótese que los colores indican un valor entre 12 y 13.

Figura 7.1: Imagen del papel indicador de pH usado para verificar el grado de alcalinidad del concreto fresco.

5.1.1 TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO

Según la norma (NTP 339.184, ASTM C1064). Según la Norma Técnica Peruana se aplica para medir la temperatura de mezclas de concreto fresco y puede ser usado para verificar la conformidad con un requerimiento especificado para la temperatura del concreto fresco en obra.

En condiciones extremas de calor o frío, el concreto debe ser: manejado, colocado, compactado, acabado y curado cuidadosamente. Las condiciones extremas de calor o frío principalmente causan problemas de agrietamiento.

Según la NTP 339.114 el concreto entregado en clima frío tendrá la temperatura mínima que se indica en el cuadro. (El comprador informará al fabricante sobre el tipo de construcción para el cual se diseñó el concreto).

Temperatura Mínima del Concreto para Vaciado en Clima Frío:

Tamaño de la Sección mm (pulg)	Temperatura Mínima °C
< 300 (< 12)	13
300 - 900 (12 - 36)	10
900 - 1800 (36 - 72)	7
>1800 (>72)	5

La máxima temperatura del concreto producido con agregados calentados, agua caliente, o ambos, no excederá de 32 °C en ningún instante durante su producción o transporte.

En climas cálidos, el productor enviará el concreto premezclado, a la temperatura más baja posible, sujeta a la aprobación del comprador.

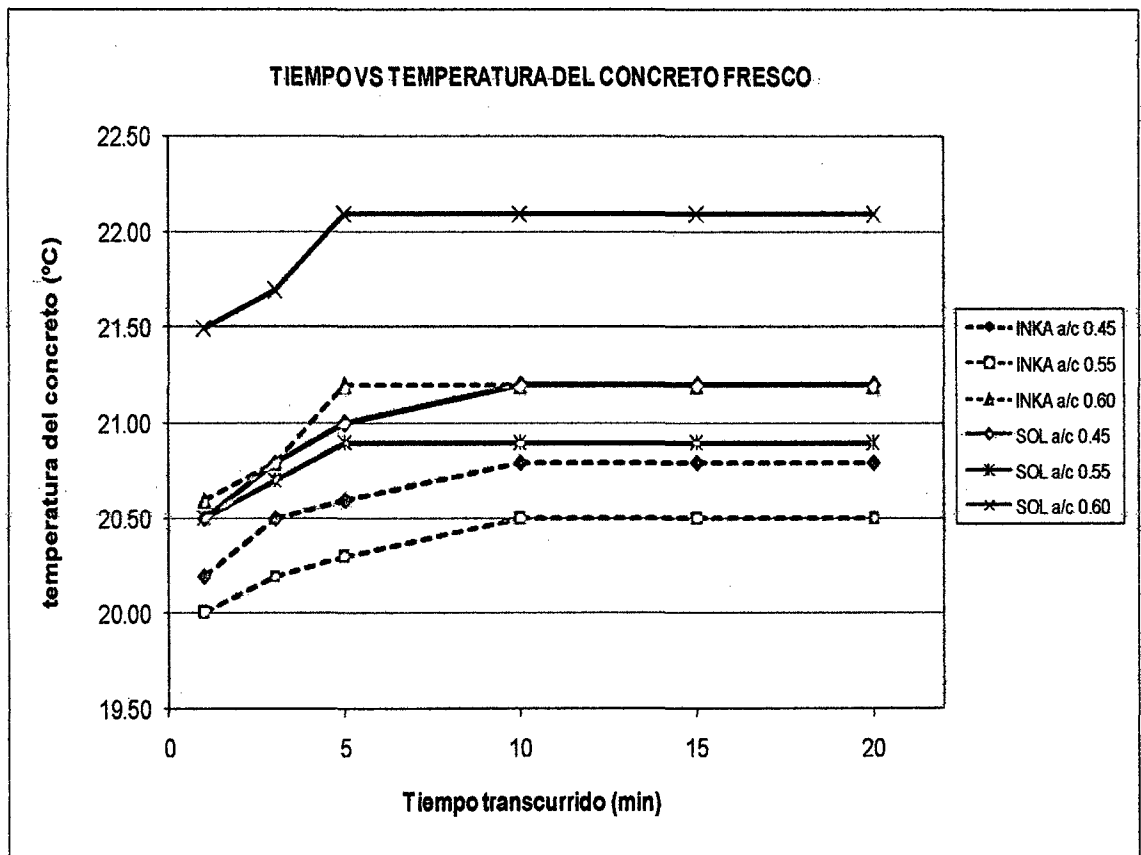


Gráfico 7.7: Ensayo de Temperatura de la mezcla del Concreto.

Cuadro 7.7: Resumen del ensayo de Temperatura de la mezcla del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)
INKA TIPO ICo	0.45	20.8
	0.55	20.5
	0.60	21.2
SOL TIPO I	0.45	21.2
	0.55	20.9
	0.60	22.1

Fuente: Elaboración propia.

7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

7.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Según la norma (NTP 339.034, ASTM C39). La resistencia a la compresión del concreto es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin agrietarse o romperse, es la propiedad más característica del concreto y que además define su calidad. Se determina mediante ensayos de probetas cilíndricas normales de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, moldeadas y curadas de acuerdo a norma y que son sometidas a compresión axial en máquinas especiales de laboratorio.

La resistencia en general del concreto aumenta conforme pasa el tiempo y depende principalmente del contenido de humedad que tiene durante ese tiempo. Se sabe que la resistencia a la compresión es función de la relación agua/cemento principalmente, por ello la búsqueda de resistencias elevadas y con ello mayor durabilidad, involucra obtener relaciones a/c más bajas.

En el cuadro 8.9 se muestra el porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Cuadro 7.8: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto a los 28 días.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo	0.45	28	381.2
	0.55	28	323.5
	0.60	28	291.8
SOL TIPO I	0.45	28	407.4
	0.55	28	348.0
	0.60	28	319.2

Fuente: Elaboración propia.

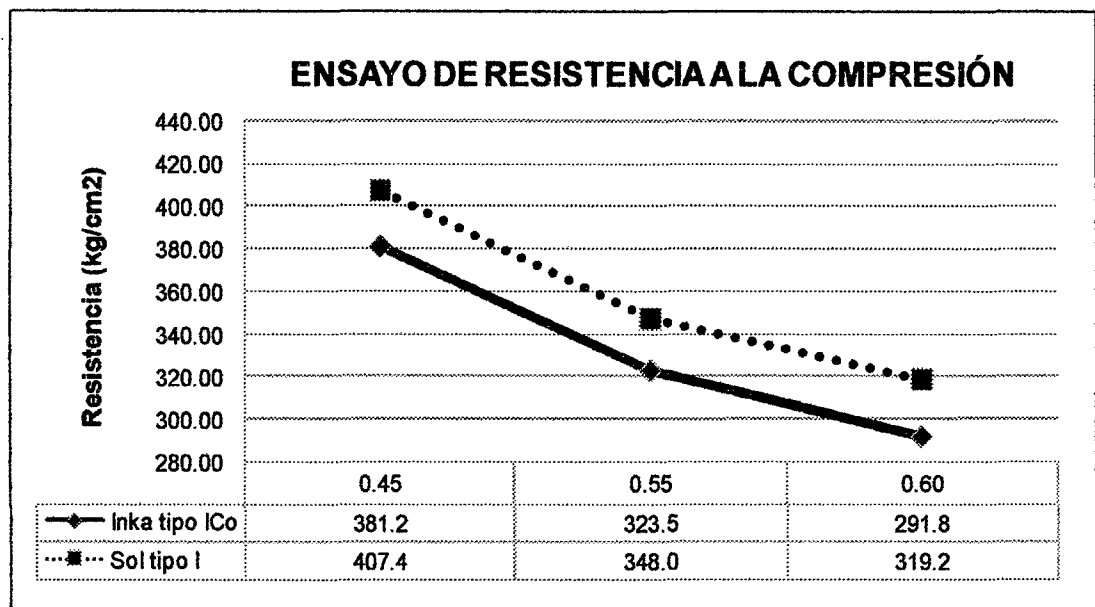


Gráfico 7.8: Ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto a los 28 días.

Cuadro 7.9: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.

	a/c	1	3	7	14	28
INKA TIPO ICo	0.45	229.5	280.1	319.5	340.1	381.2
	0.55	145.0	234.7	264.9	290.9	323.5
	0.60	109.8	210.1	239.8	255.4	291.8

Fuente: Elaboración propia.

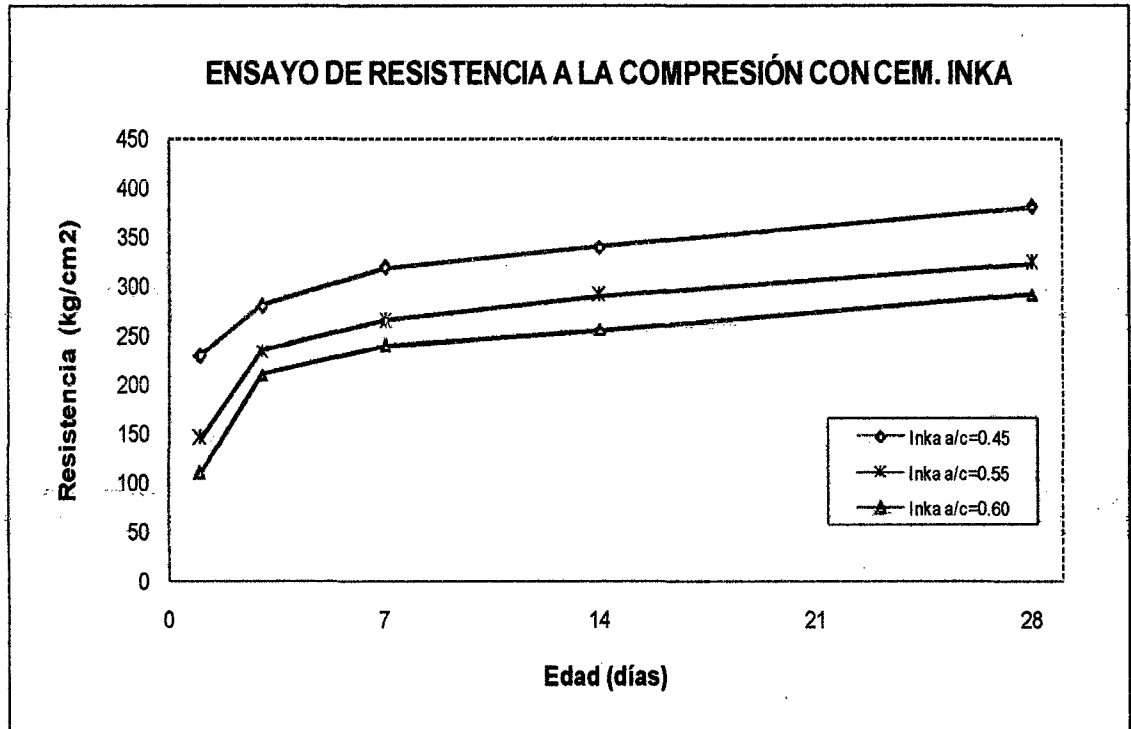


Gráfico 7.9: Ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.

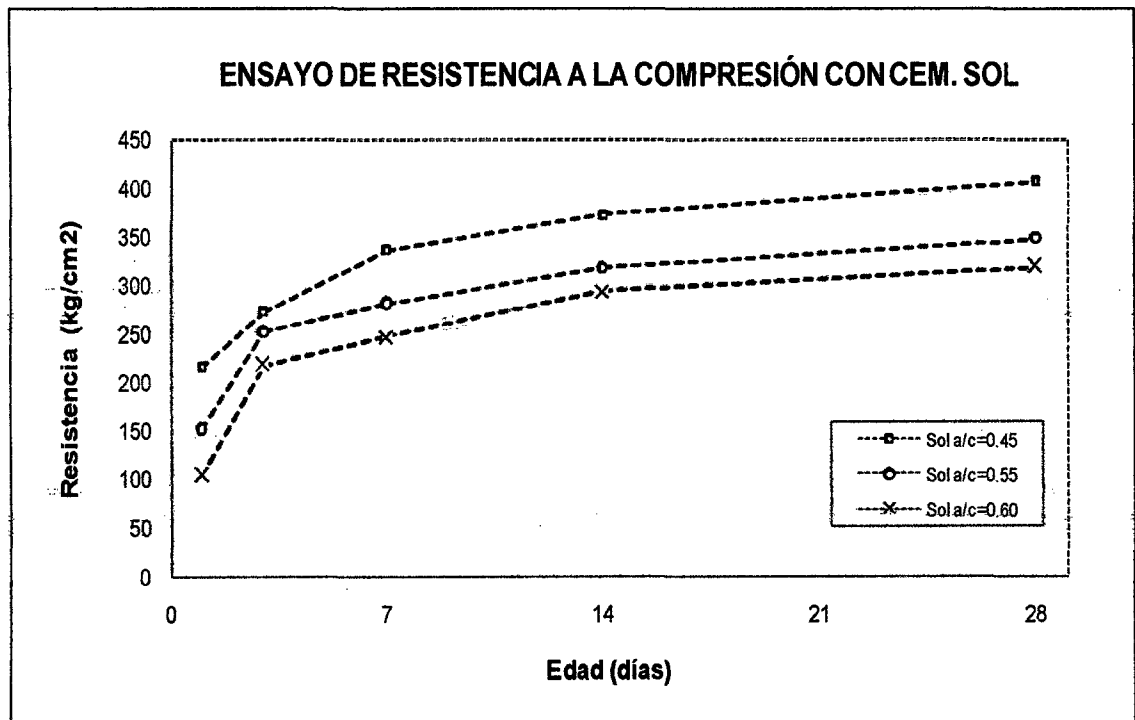


Gráfico 7.10: Ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.

Cuadro 7.10: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.

	a/c	1	3	7	14	28
SOL TIPO I	0.45	215.1	273.0	336.3	373.2	407.4
	0.55	151.6	252.1	281.2	318.4	348.0
	0.60	103.5	218.0	247.9	294.1	319.2

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.13 se muestra el porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I. En el cuadro 8.14 se muestra el porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia del concreto a los 28 días.

7.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Según la norma (NTP 339.084, ASTM C496). Para realizar este ensayo se usan las probetas que se usan en el ensayo a compresión. El ensayo de tracción por el método brasileiro consiste en romper la probeta entre los dos platos de la prensa de compresión. El contacto que hay entre los platos con la probeta se realiza por medio de piezas de triplay de 5mm de espesor. Para el ensayo es necesario que la probeta este bien centrada.

La resistencia a la tracción por compresión diametral está dada por la siguiente fórmula:

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

Donde:

Q = Resistencia a la tracción (kg/cm²)

P = Carga de rotura (kg).

D = Diámetro de la probeta ensayada (cm).

L = Longitud de la probeta cilíndrica (cm).

Cuadro 7.11: Resumen del ensayo de Resistencia a la tracción por compresión diametral del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo	0.45	28	31.9
	0.55	28	27.5
	0.60	28	24.1
SOL TIPO I	0.45	28	30.7
	0.55	28	30.2
	0.60	28	29.6

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.15 se muestra el porcentaje de variación de la Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I.

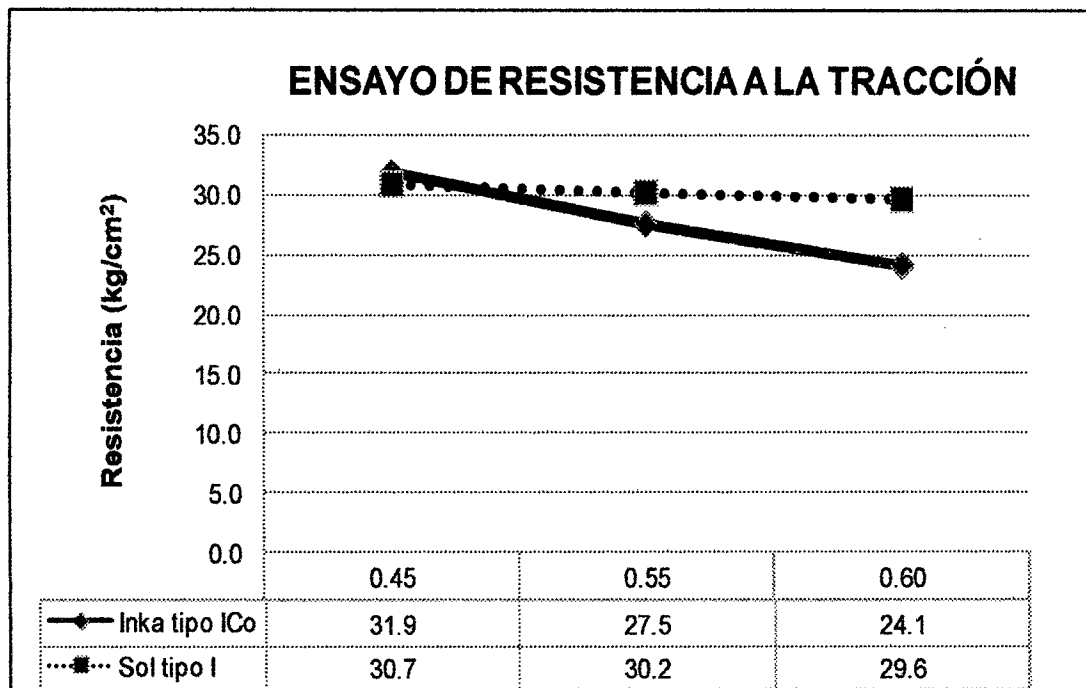


Gráfico 7.11: Ensayo de la Resistencia a la tracción por compresión diametral del Concreto.

7.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Según la norma (NTP 339.078, ASTM C78). La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada modulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El ensayo de flexión se efectúa en vigas: cargadas en los tercios de la luz, por carga en el centro o empotrada con carga en el extremo libre.

El ensayo con carga en los tercios es más representativo de la calidad del concreto, pues el reparto de tensiones revela las deficiencias que pudiera tener.

Factores a considerar:

- Al incrementarse la resistencia a la compresión la de flexión crece en menor grado.
- La resistencia a la flexión luego de 28 días aumenta más débilmente que la resistencia a la compresión.
- Los especímenes de flexión requieren mayor cuidado en el curado que la de compresión.
- Dificultades en el procedimiento de ensayo.

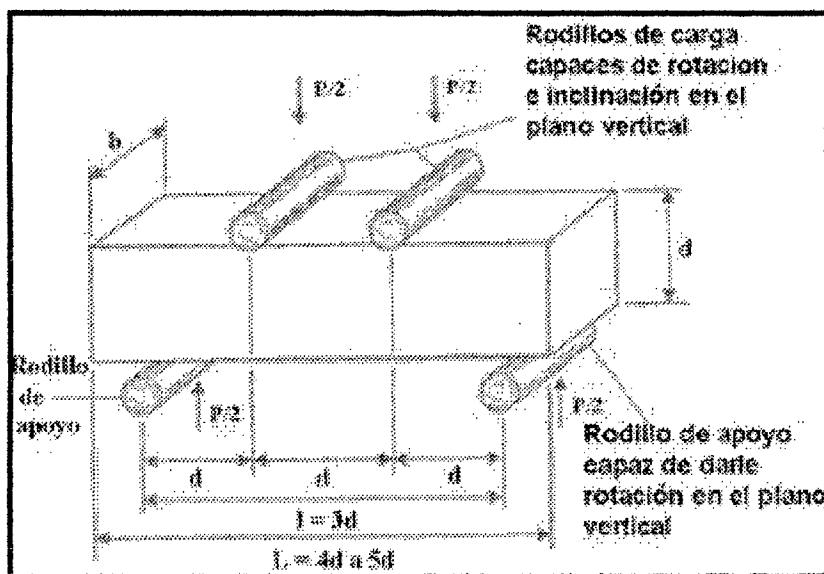


Figura 7.2: Forma de colocación de la viga de ensayo.

Para realizar el ensayo se siguió el procedimiento de la norma en mención así como las normas siguientes:

NTP 339.044 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la preparación y curado en obra de probetas para ensayo de flexión.

NTP 339.045 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la preparación y curado en laboratorio de probetas para ensayo de flexión.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de luz del la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calculará, según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio o a una distancia de éste no mayor del 5 % de la luz libre.

Cuadro 7.12: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo	0.45	28	45.3
	0.55	28	43.2
	0.60	28	38.9
SOL TIPO I	0.45	28	51.8
	0.55	28	38.9
	0.60	28	34.7

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.16 se muestra el porcentaje de variación de la Resistencia a la flexión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Cuadro 7.13: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 3, 7, 14 y 28 días.

	a/c	3	7	14	28
INKA TIPO ICo	0.45	20.7	26.5	30.4	45.3
	0.55	19.6	26.3	33.9	43.2
	0.60	20.0	25.5	30.3	38.9

Fuente: Elaboración propia.

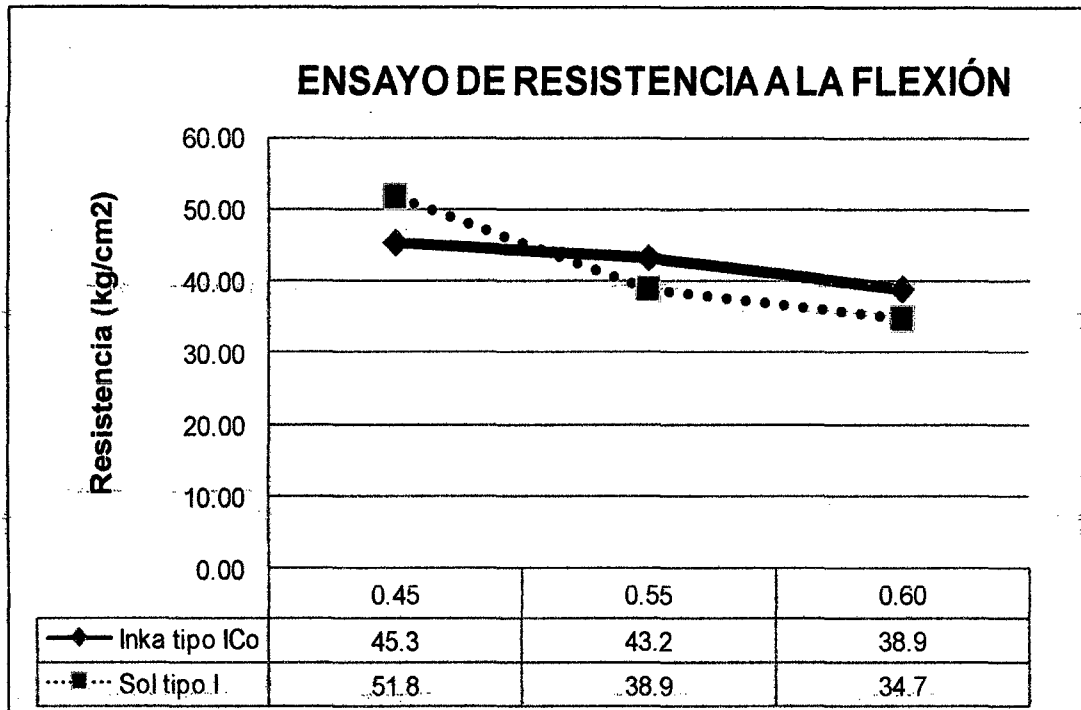


Gráfico 7.12: Ensayo de la Resistencia a la flexión del Concreto.

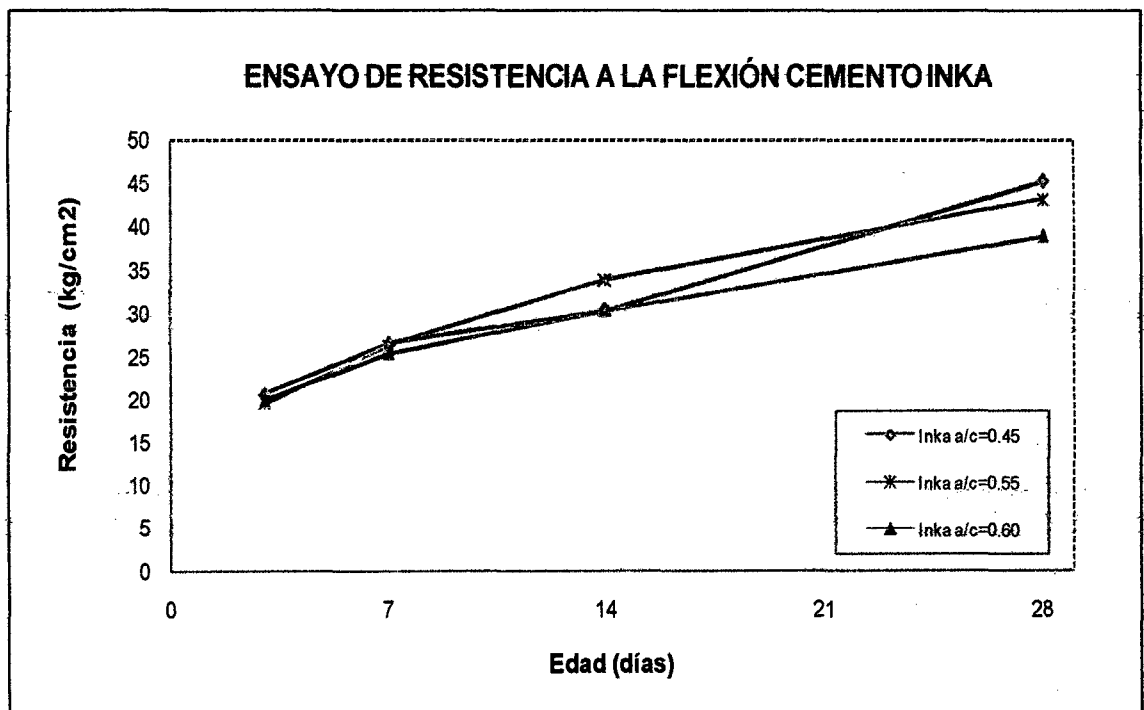


Gráfico 7.13: Ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Inka a los 3, 7, 14 y 28 días.

Cuadro 7.14: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 3, 7, 14 y 28 días.

	a/c	3	7	14	28
SOL TIPO I	0.45	21.6	30.3	35.6	51.8
	0.55	18.0	24.8	32.6	38.9
	0.60	19.7	26.5	31.4	34.7

Fuente: Elaboración propia:

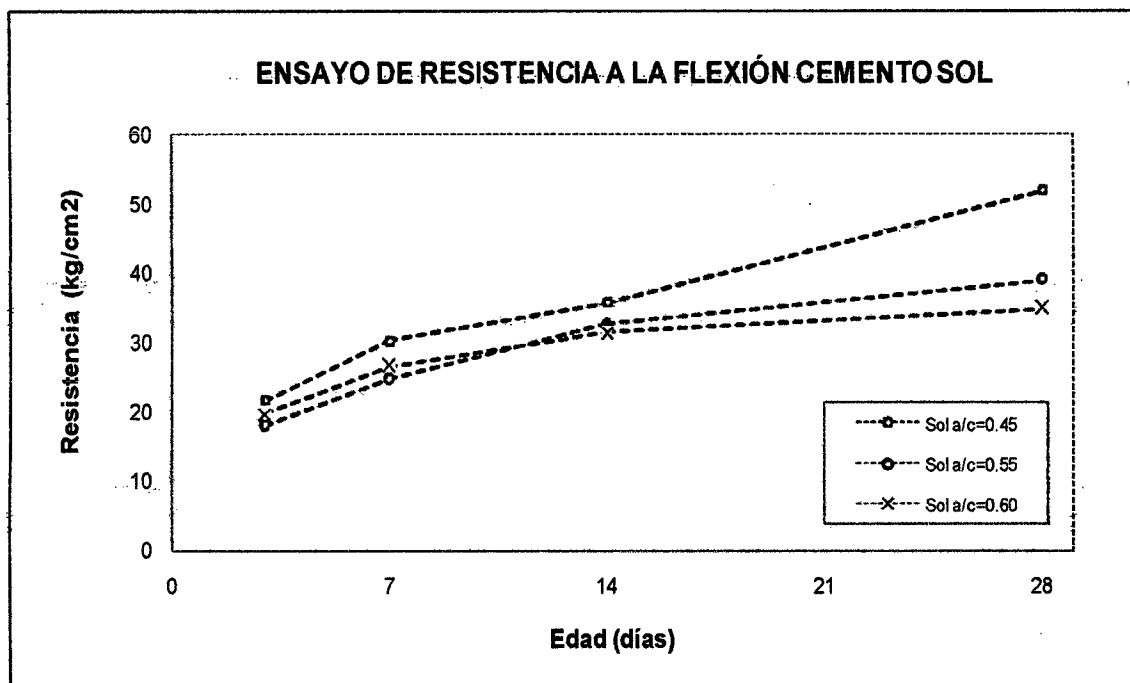


Gráfico 7.14: Ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto obtenido con Cemento Sol a los 3, 7, 14 y 28 días.

5.1.2 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO

Según la norma (ASTM C642). Es la propiedad de los concretos endurecidos por la cual absorben fluidos del medio que los rodea, esta absorción de fluidos es un indicador de durabilidad de los concretos, porque la mayor absorción de estos materiales indica que se tiene un concreto muy permeable y en el que pueden ingresar fácilmente sales, sulfatos, y otros materiales muy dañinos para el concreto, desde el medio que lo rodea.

El procedimiento para medir dicha absorción utiliza agua y consiste en obtener el peso seco de una muestra de concreto endurecido, para luego sumergir dicha muestra en un recipiente con agua hasta lograr peso constante, después se compara el peso de agua absorbido con el peso de la misma muestra y así se

obtiene el porcentaje de agua absorbida con el peso seco de la misma muestra y así se obtiene el porcentaje de agua absorbida por el concreto.

La muestra de concreto fue una probeta cilíndrica de 10cm de diámetro y 20cm de altura.

Cuadro 7.15: Resumen del ensayo de Porcentaje de absorción del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
INKA TIPO ICo	0.45	4.92
	0.55	5.04
	0.60	5.08
SOL TIPO I	0.45	4.93
	0.55	5.07
	0.60	5.15

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 8.21 se muestra el porcentaje de variación del Porc. de absorción con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

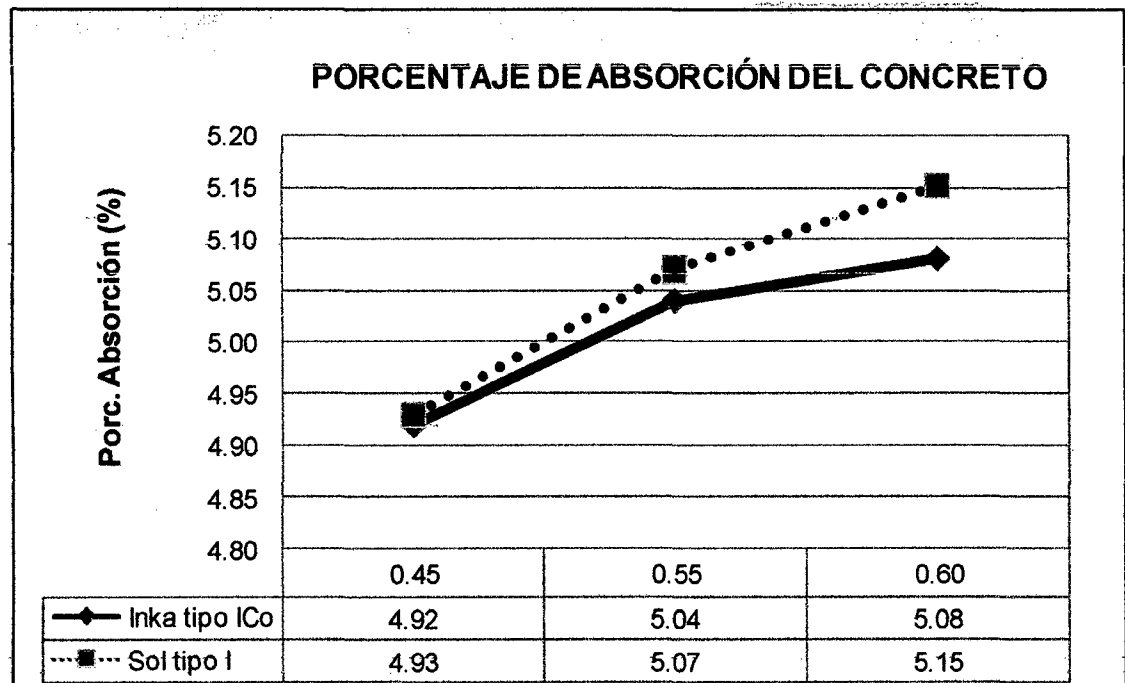


Gráfico 7.15: Ensayo de Porcentaje de absorción del Concreto.

Capítulo **VIII**

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

8.1 AGREGADOS

• AGREGADO FINO

El agregado fino usado pertenece a la Cantera Trapiche, del cual se realizaron los respectivos ensayos para la obtención de las propiedades físicas y el análisis granulométrico del agregado; obteniéndose la curva granulométrica, la cual fue graficada con los límites indicados en la norma NTP 400.037, observándose una curva tendida encontrándose en su mayoría dentro de los husos granulométricos; teniendo la arena un módulo de finura de 2.77.

• AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado pertenece a la Cantera La Gloria, para su análisis se realizaron las propiedades físicas y su análisis granulométrico usando los límites granulométricos indicados en la norma NTP 400.037.

• AGREGADO GLOBAL

Para encontrar la mejor combinación de los agregados se obtuvo en base al criterio de máxima compactación de los agregados para encontrar la proporción que nos resulte el máximo peso unitario compactado; con la cual se obtuvo la granulometría del agregado global limitada por los husos granulométricos especificados en la norma NTP 400.037, la cual se observa que en la curva del agregado global se encuentra dentro de los husos permitidos.

8.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

8.2.1 CONSISTENCIA

El asentamiento de los diseños en la presente tesis se encuentran en el rango de 3" a 5" como se muestra en el cuadro 8.1, encontrando estos resultados con una consistencia de normal a plástica, teniendo con esto un concreto trabajable. Cabe resaltar que se utilizó la misma cantidad de agua en la mezcla para el diseño de concreto con ambos tipos de cemento.

Se observa incremento del asentamiento, teniendo un incremento de 30.8% en concreto con Cemento INKA tipo ICo en relación a/c 0.45, un incremento de 14.3% en concreto con Cemento INKA tipo ICo en relación a/c 0.55 y un incremento de 14.3% en concreto con Cemento INKA tipo ICo en relación a/c 0.60 con respecto a los concretos patrones preparados con Cemento SOL tipo I para cada una de las relaciones a/c dadas.

En el anexo 3.2 se muestra la fotografía del ensayo.

Cuadro 8.1: Porcentaje de variación del Asentamiento con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
ASENTAMIENTO (pulg)	INKA TIPO ICo	4.25	4.00	4.00
	SOL TIPO I	3.25	3.50	3.50
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC.REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	130.8%	114.3%	114.3%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

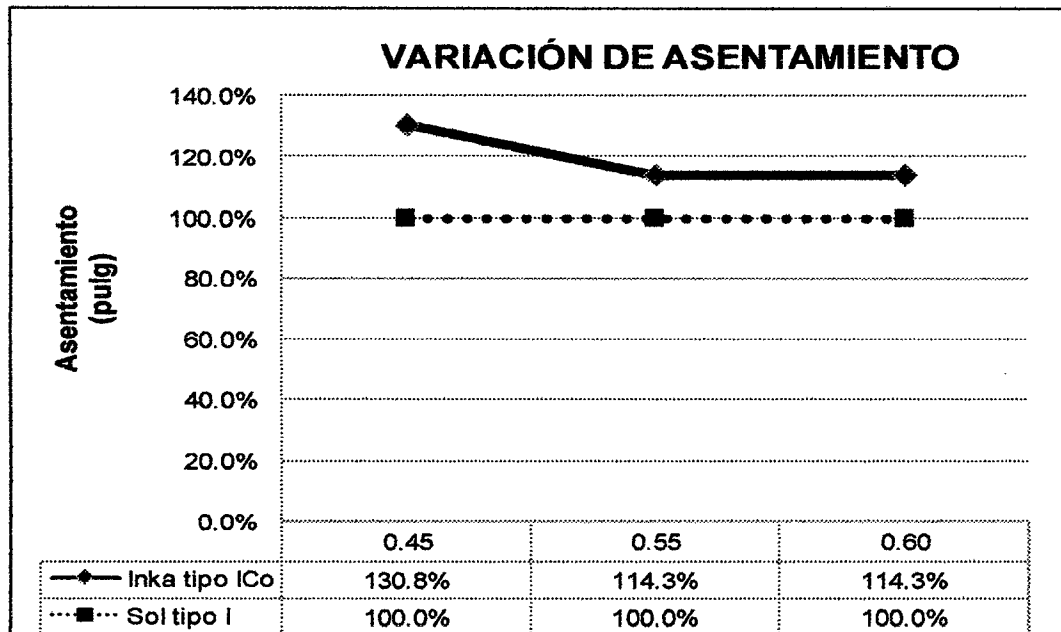


Gráfico 8.1: Porcentaje de variación del Asentamiento con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

El peso unitario en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.2, estos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 2292.7 kg/m³ en concreto con cemento INKA tipo ICo; 2317.8 kg/m³ en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 2308.6 kg/m³ en concreto con cemento INKA tipo ICo; 2327.6 kg/m³ en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 2315.7 kg/m³ en concreto con cemento INKA tipo ICo; 2332.9 kg/m³ en concreto con cemento SOL tipo I. Encontrándose estos valores dentro del rango de 2100 kg/m³ a 2500 kg/m³, correspondientes a un concreto normal.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una disminución del peso unitario, teniendo 98.9% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución del peso unitario, teniendo 99.20% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución del peso unitario, teniendo 99.3% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Se puede notar que al encontrar una disminución del peso unitario en el concreto con cemento INKA tipo ICo, esto se debe a que tiene un peso específico menor al peso específico del cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.2: Porcentaje de variación del Peso unitario con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
PESO UNITARIO (kg/m ³)	INKA-TIPO ICo	2292.7	2308.6	2315.7
	SOL TIPO I	2317.8	2327.6	2332.9
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC.REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	98.9%	99.2%	99.3%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%
Concreto de referencia: Sol Tipo I.				

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3.4 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 4.1 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

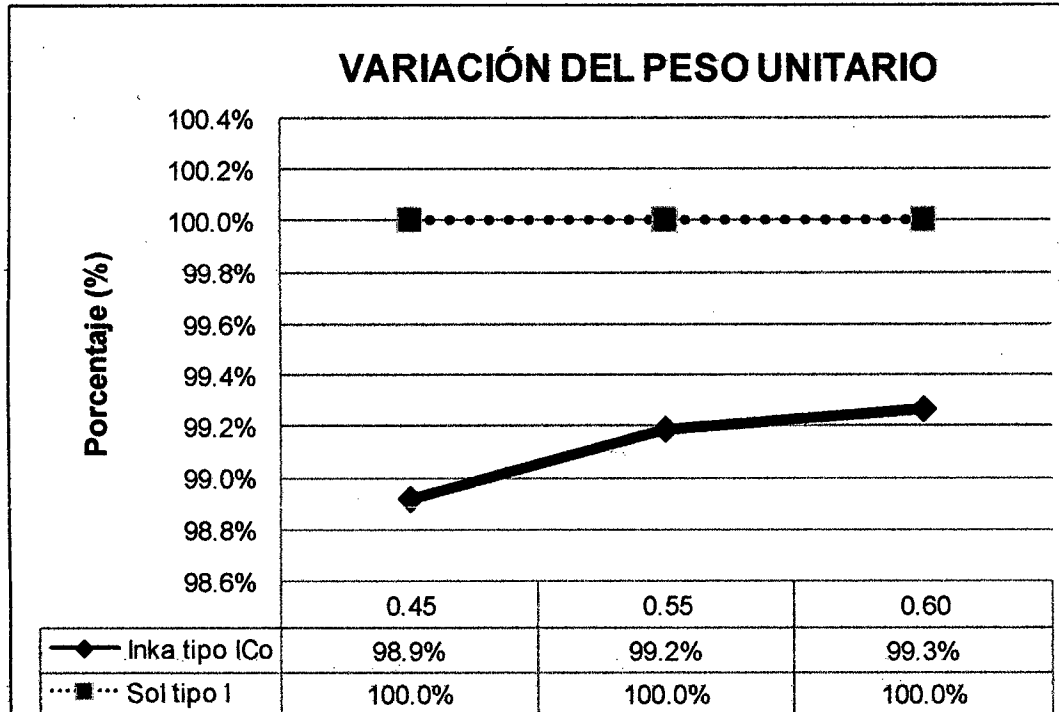


Gráfico 8.2: Porcentaje de variación del Peso unitario con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

8.2.3 CONTENIDO DE AIRE

El porcentaje de contenido de aire en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.3, estos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 1.06% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 1.19% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 0.93% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 1.01% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 0.79% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 0.87% en concreto con cemento SOL tipo I. Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una disminución del porcentaje de contenido de aire en 10.80% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución del porcentaje de contenido de aire en 8.10% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución del porcentaje de contenido de aire en 9.40% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.3: Porcentaje de variación del Contenido de aire con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
PORCENTAJE DE AIRE (%)	INKA TIPO ICo	1.06	0.93	0.79
	SOL TIPO I	1.19	1.01	0.87
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	89.2%	91.9%	90.6%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 4.2 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

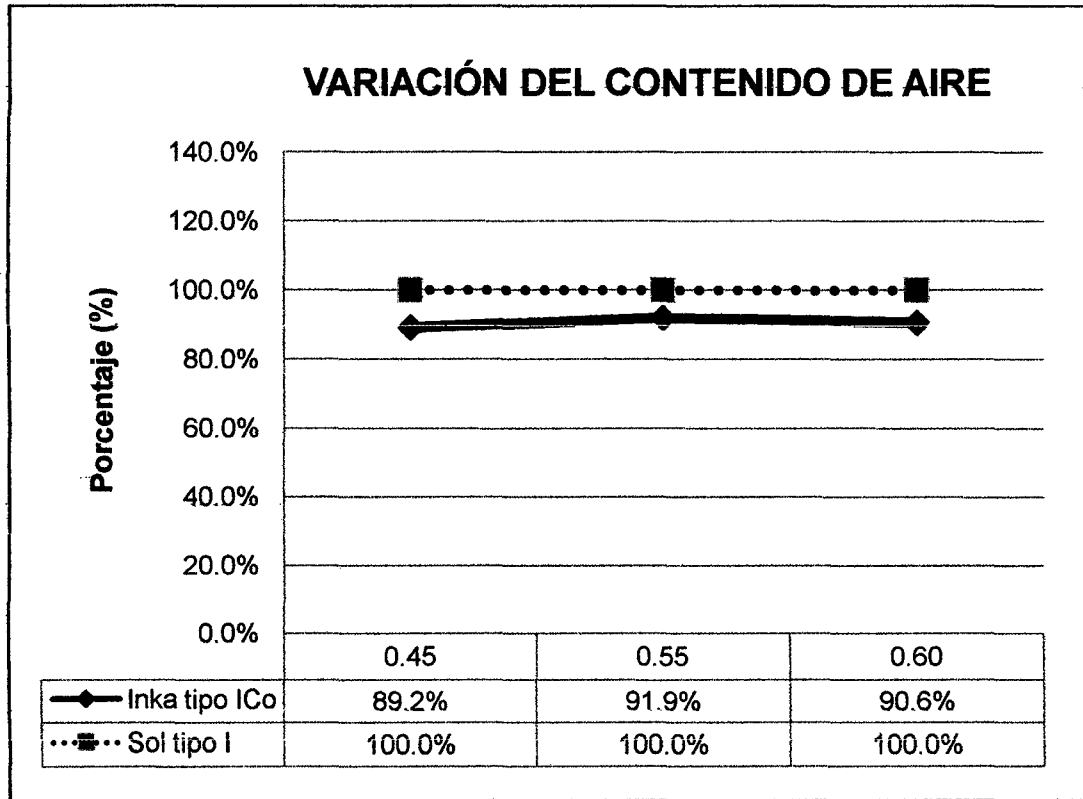


Gráfico 8.3: Porcentaje de variación del Contenido de aire con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

8.2.4 FLUIDEZ

Los resultados del ensayo de fluidez en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.4, donde los índices de fluidez obtenidos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 92.67% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 87.67% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 92.00% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 89.33% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 90.00% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 90.00% en concreto con cemento SOL tipo I.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene un incremento del porcentaje de fluidez en 5.70% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene un incremento del porcentaje de fluidez en 3.00% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se obtiene un valor igual del porcentaje de fluidez en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Por los resultados obtenidos se observa que el concreto es más fluido, esto se ve reflejado también en el aumento del asentamiento.

Cuadro 8.4: Porcentaje de variación de la Fluidez con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
FLUIDEZ (%)	INKA TIPO ICo	92.67	92.00	90.00
	SOL TIPO I	87.67	89.33	90.00
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	105.7%	103.0%	100.0%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3.5 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 4.3 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

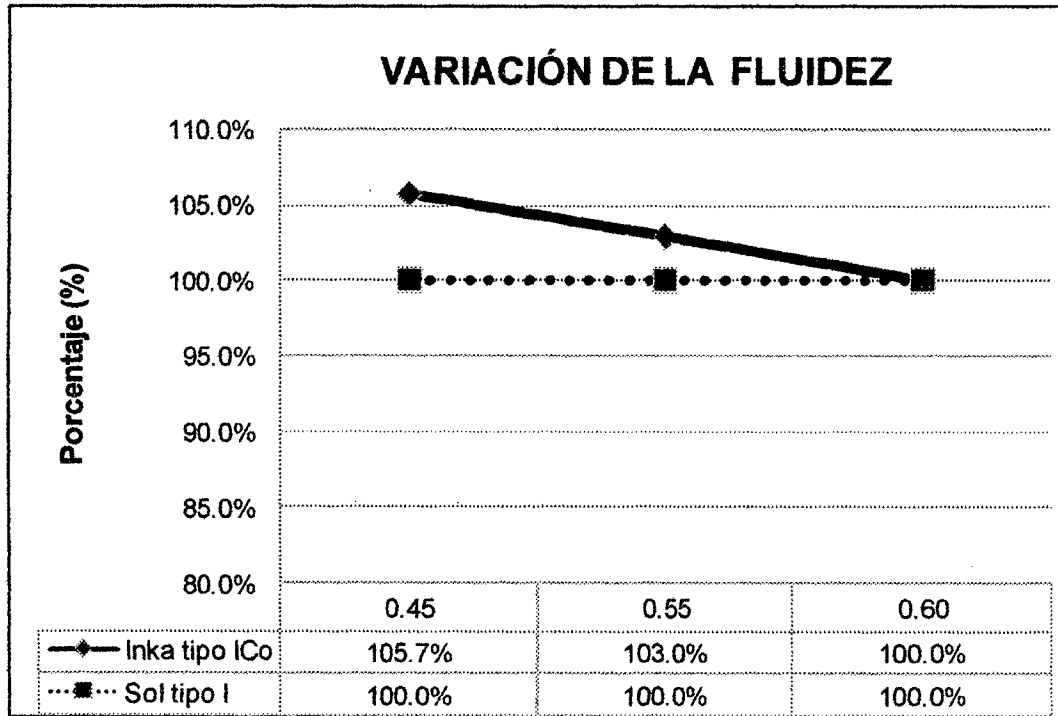


Gráfico 8.4: Porcentaje de variación de la Fluidez con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

8.2.5 EXUDACIÓN

En el cuadro 8.5 se tiene los resultados del ensayo de exudación, teniendo: Para la relación a/c 0.45 tenemos 1.14% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 1.55% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 1.42% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 1.91% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 1.63% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 2.33% en concreto con cemento SOL tipo I.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una disminución del porcentaje de exudación, teniendo 73.40% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución del porcentaje de exudación, teniendo 74.50% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución del porcentaje de exudación, teniendo 69.90% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.5: Porcentaje de variación de Exudación con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
EXUDACIÓN (%)	INKA TIPO ICo	1.14	1.42	1.63
	SOL TIPO I	1.55	1.91	2.33
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC.REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	73.4%	74.5%	69.9%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3.7 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 4.4 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

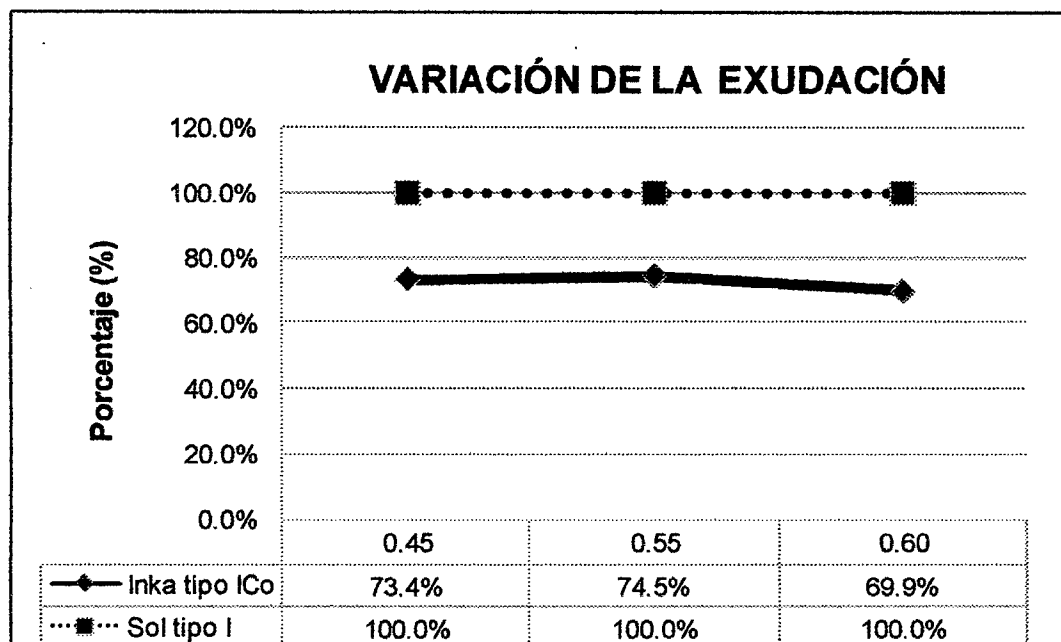


Gráfico 8.5: Porcentaje de variación de Exudación con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

8.2.6 TIEMPO DE FRAGUADO

En el cuadro 8.6 se tienen los tiempos de fraguado inicial para los diferentes tipos de concreto, teniendo: Para la relación a/c 0.45 tenemos los tiempos de 3 horas con 35 minutos en concreto con cemento INKA tipo ICo; 4 horas con 50 minutos en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos los tiempos de 4 horas en concreto con cemento INKA tipo ICo; 5 horas con 30

minutos en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos los tiempos de 4 horas con 10 minutos en concreto con cemento INKA tipo ICo; 4 horas con 15 minutos en concreto con cemento SOL tipo I.

Para el tiempo de fraguado inicial, se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene un incremento del tiempo de 13.20% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene un incremento del tiempo de 2.10% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución del tiempo de 2.00% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

En el cuadro 8.7 se tienen los tiempos de fraguado final para los diferentes tipos de concreto, teniendo: Para la relación a/c 0.45 tenemos los tiempos de 4 horas con 50 minutos en concreto con cemento INKA tipo ICo; 4 horas con 15 minutos en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos los tiempos de 5 horas con 30 minutos en concreto con cemento INKA tipo ICo; 5 horas con 35 minutos en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos los tiempos de 5 horas con 35 minutos en concreto con cemento INKA tipo ICo; 5 horas con 35 minutos en concreto con cemento SOL tipo I.

Para el tiempo de fraguado final, se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene un incremento del tiempo de 13.50% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución del tiempo de 1.50% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución del tiempo de 1.50% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

En el anexo 3.8 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 4.5 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

Cuadro 8.6: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado inicial con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (min)	INKA TIPO ICo	215	240	250
	SOL TIPO I	190	235	255
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	113.2%	102.1%	98.0%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

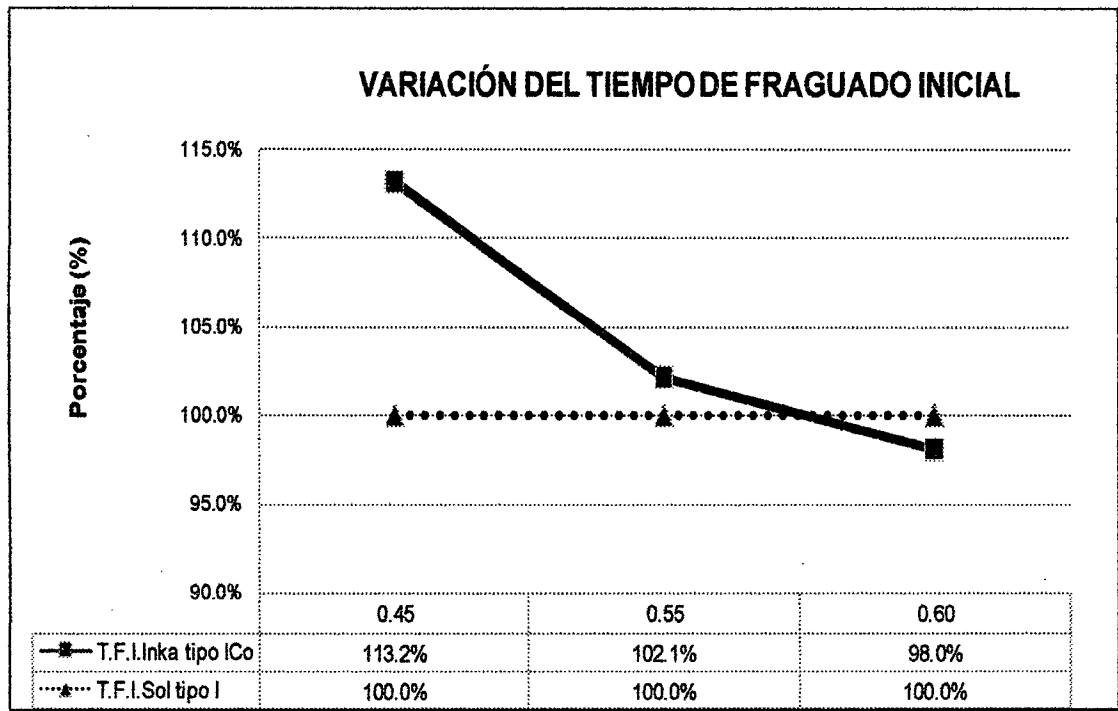


Gráfico 8.6: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado inicial con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Cuadro 8.7: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado final con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (min)	INKA TIPO ICo	290	330	330
	SOL TIPO I	255	335	335
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC.REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	113.5%	98.5%	98.5%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

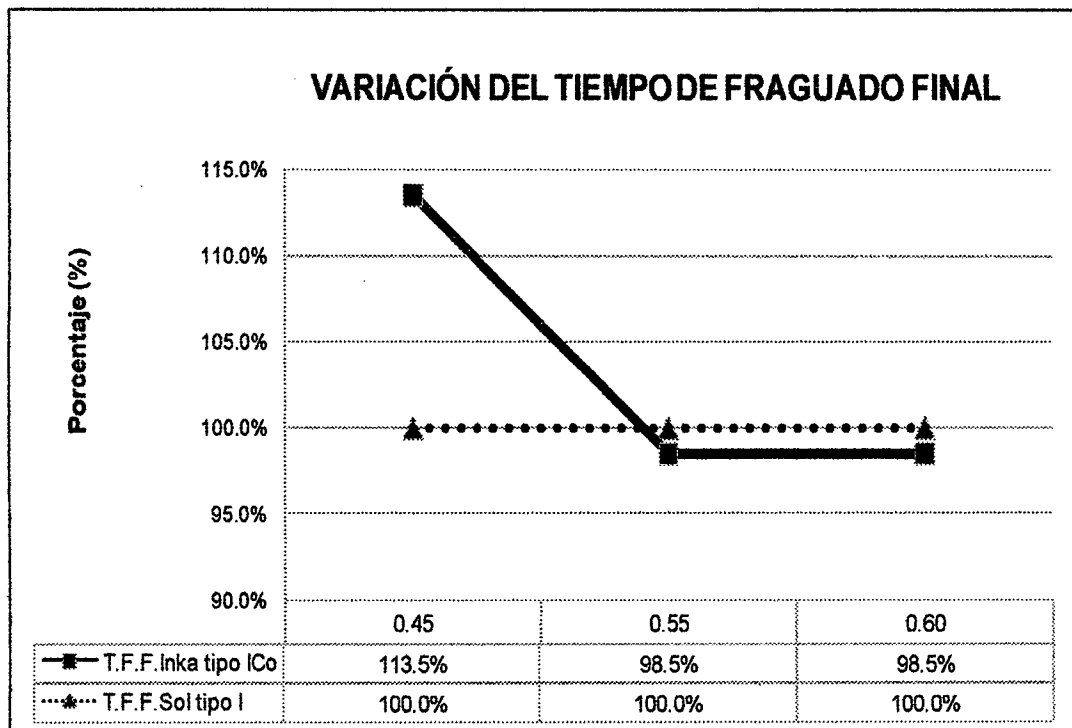


Gráfico 8.7: Porcentaje de variación del Tiempo de fraguado final con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

8.2.7 PH DEL CONCRETO

En la imagen se observa que el pH del concreto fresco preparado con Cemento portland con microfiller calizo indica un valor entre 12 y 13 comparado con la cartilla de colores de medición de pH. Esto indica que la mezcla no constituye un agente corrosivo en caso de usarse conjuntamente con acero de refuerzo para elaborar concreto armado.

En el anexo 3.6 se muestra la fotografía del ensayo.

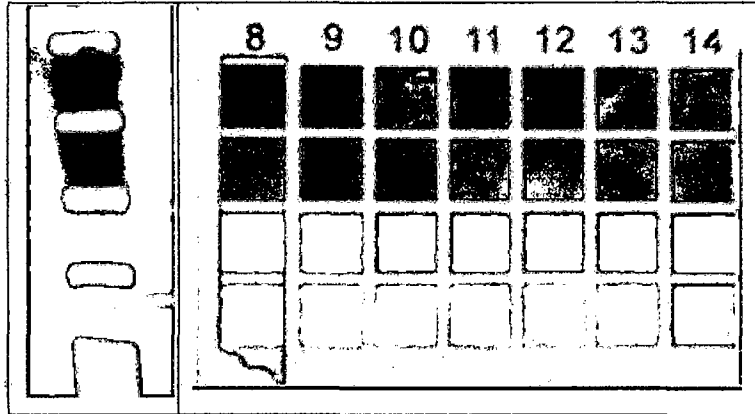


Figura 8.1: Comparación del papel indicador usado con la cartilla de colores de medición de pH.

6.2.1 TEMPERATURA DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Los resultados del ensayo de temperatura en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.8, donde los valores obtenidos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 20.8°C en concreto con cemento INKA tipo ICo; 21.2°C en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 20.5°C en concreto con cemento INKA tipo ICo; 20.9°C en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 21.2°C en concreto con cemento INKA tipo ICo; 22.1°C en concreto con cemento SOL tipo I.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una temperatura menor en 1.70% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una temperatura menor en 2.20% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una temperatura menor en 4.10% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

En el anexo 3.3 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 4.6 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

Cuadro 8.8: Resumen de la Temperatura de la mezcla del Concreto.

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	TEMPERATURA DEL CONCRETO (°C)	VARIACIÓN RESP. AL CONC. REF. SOL (%)
INKA TIPO ICo	0.45	20.8	98.3%
	0.55	20.5	97.8%
	0.60	21.2	95.9%
SOL TIPO I	0.45	21.2	100.0%
	0.55	20.9	100.0%
	0.60	22.1	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

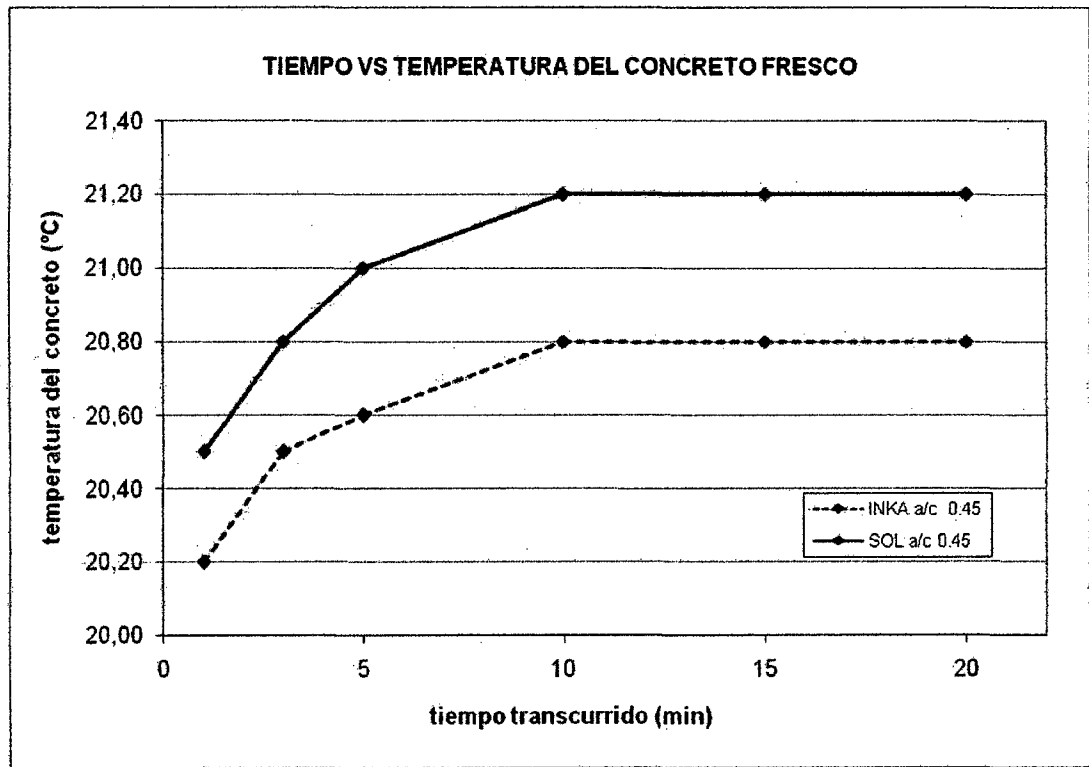


Gráfico 8.8A: Temperatura de la mezcla del Concreto para a/c=0.45.

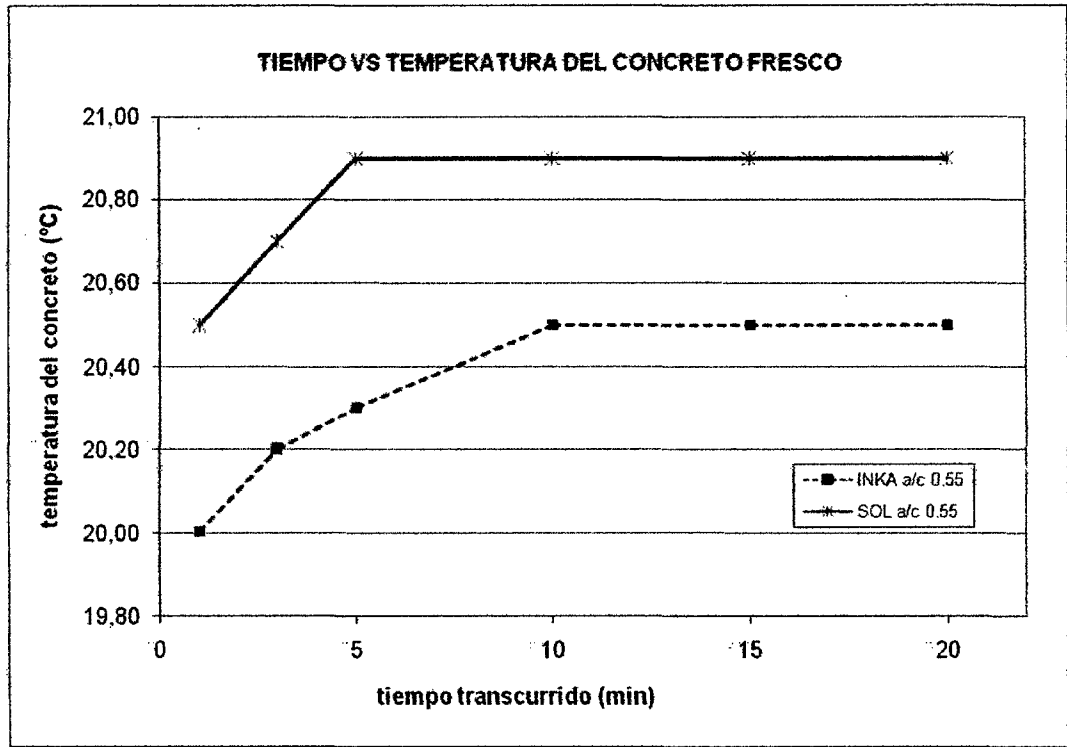


Gráfico 8.8B: Temperatura de la mezcla del Concreto para a/c=0.55.

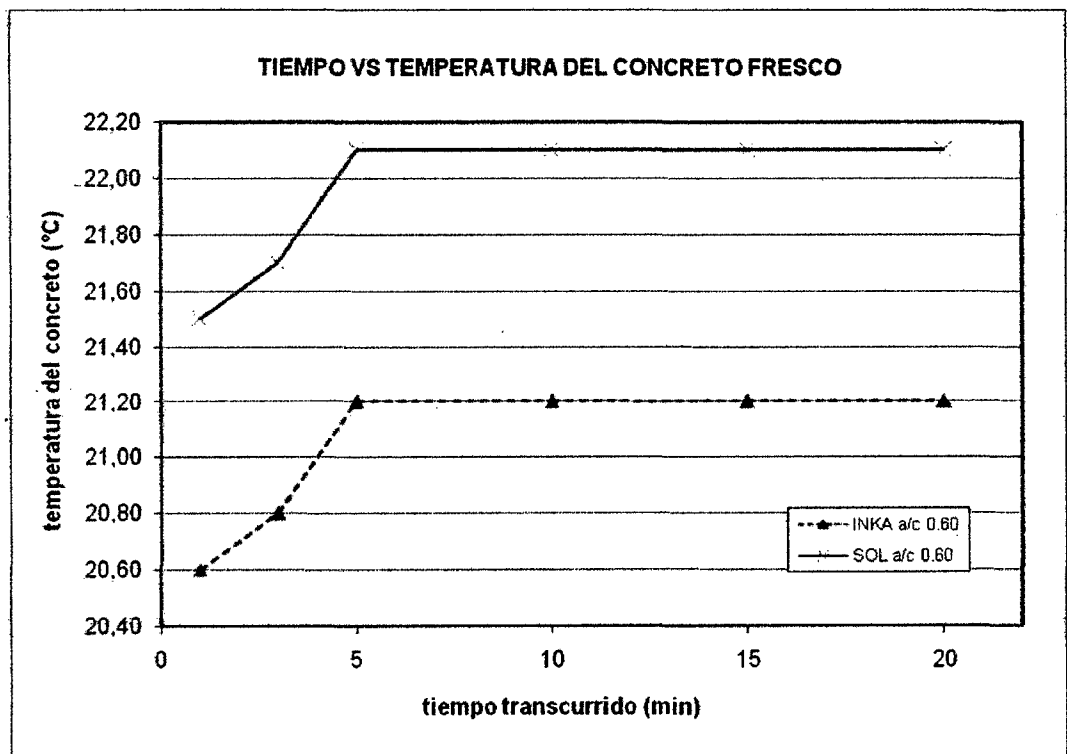


Gráfico 8.8C: Temperatura de la mezcla del Concreto para a/c=0.60.

8.3 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

8.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.9, donde los valores obtenidos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 381.2 kg/cm² en concreto con cemento INKA tipo ICo; 407.4 kg/cm² en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 323.5 kg/cm² en concreto con cemento INKA tipo ICo; 348.0 kg/cm² en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 291.8 kg/cm² en concreto con cemento INKA tipo ICo; 319.2 kg/cm² en concreto con cemento SOL tipo I.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una disminución de la resistencia en 6.40% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución de la resistencia en 7.00% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución de la resistencia en 8.60% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.9: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Edad del concreto 28 días		a/c		
		0.45	0.55	0.60
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)	INKA TIPO ICo	381.2	323.5	291.8
	SOL TIPO I	407.4	348.0	319.2
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	93.6%	93.0%	91.4%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3.9 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 5.1 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

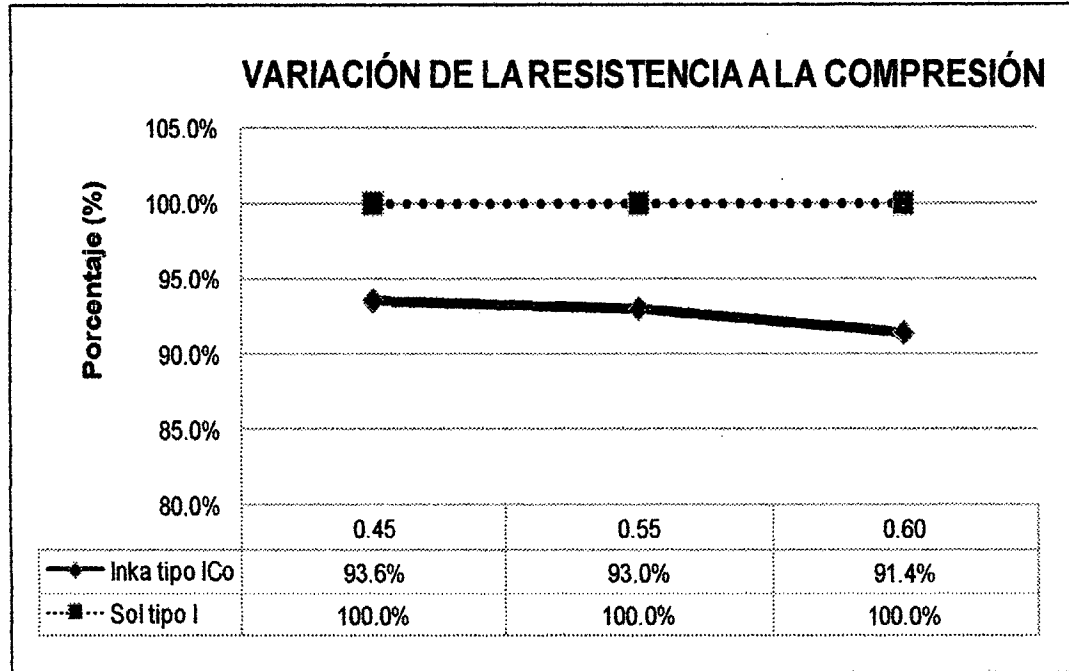


Gráfico 8.9: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Cuadro 8.10: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación a/c=0.45.

TIPO DE CEMENTO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo a/c=0,45	1	229.5
	3	280.1
	7	319.5
	14	340.1
	28	381.2
SOL TIPO I a/c=0,45	1	215.1
	3	273.0
	7	336.3
	14	373.2
	28	407.4

Fuente: Elaboración propia.

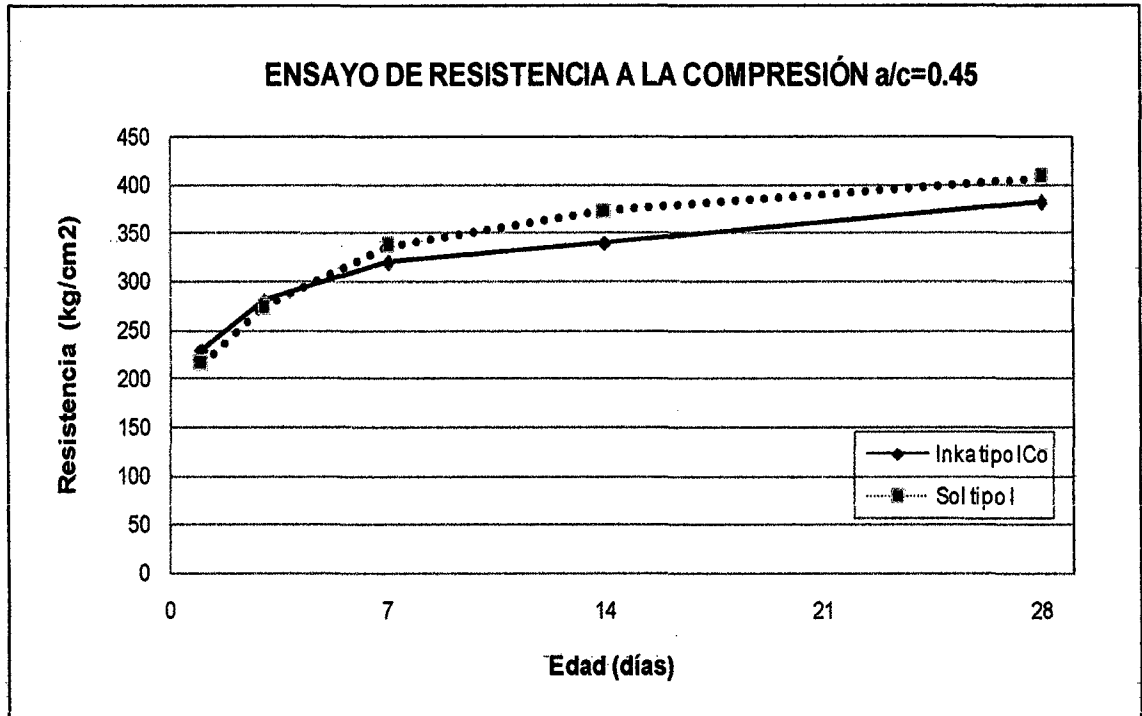


Gráfico 8.10: Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.45$.

Cuadro 8.11: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.

TIPO DE CEMENTO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo $a/c=0,55$	1	145.0
	3	234.7
	7	264.9
	14	290.9
	28	323.5
SOL TIPO I $a/c=0,55$	1	151.6
	3	252.1
	7	281.2
	14	318.4
	28	348.0

Fuente: Elaboración propia.

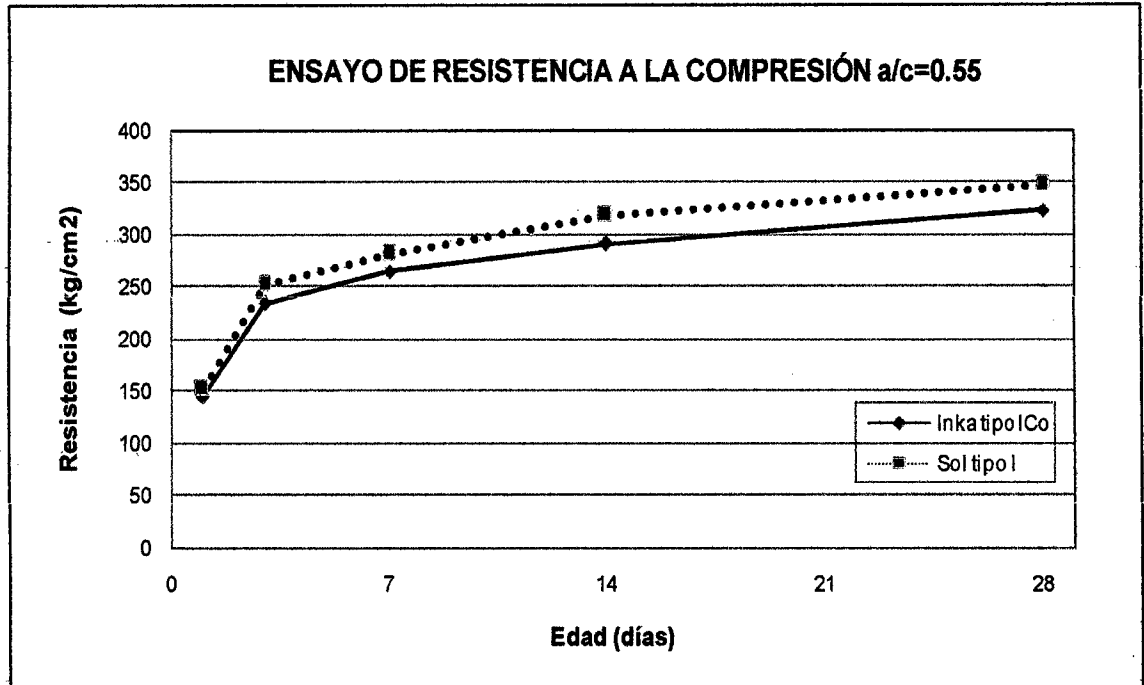


Gráfico 8.11: Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.

Cuadro 8.12: Resumen del ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.

TIPO DE CEMENTO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO I Co $a/c=0,60$	1	109.8
	3	210.1
	7	239.8
	14	255.4
	28	291.8
SOL TIPO I $a/c=0,60$	1	103.5
	3	218.0
	7	247.9
	14	294.1
	28	319.2

Fuente: Elaboración propia.

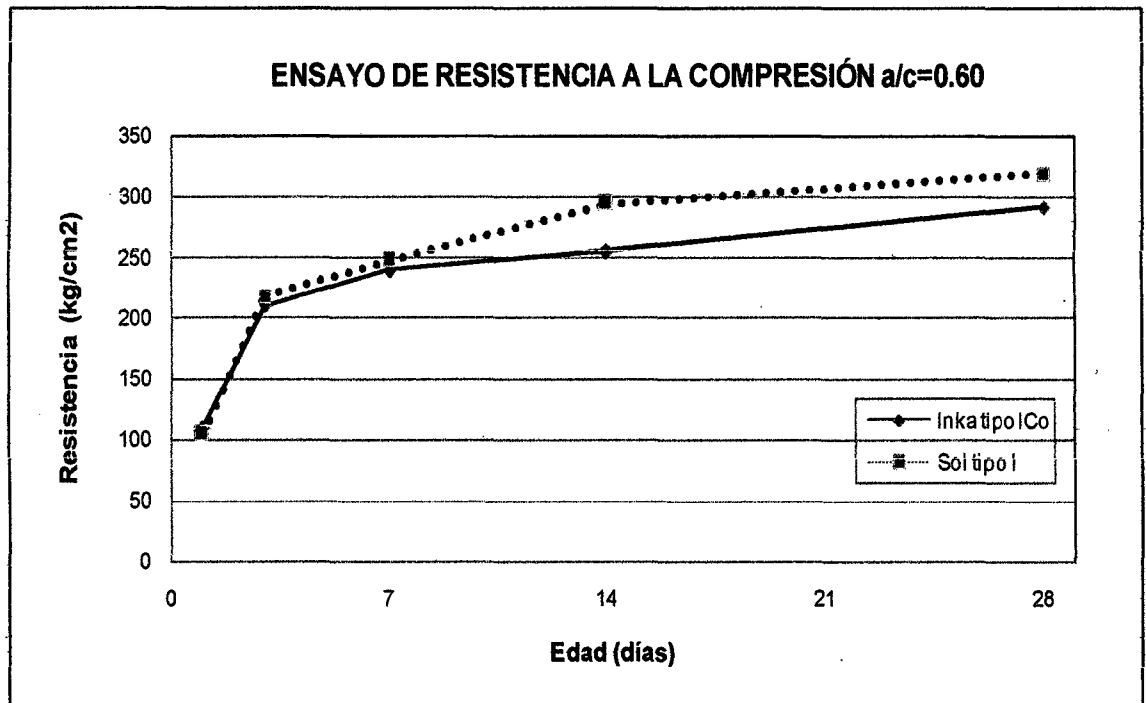


Gráfico 8.12: Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto a los 1, 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.

Cuadro 8.13: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

a/c	TIPO DE CEMENTO	1d	3d	7d	14d	28d
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0.45	INKA TIPO Ico	106.7	102.6	95.0	91.1	93.6
	SOL TIPO I	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
0.55	INKA TIPO Ico	95.6	93.1	94.2	91.3	93.0
	SOL TIPO I	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
0.60	INKA TIPO Ico	106.0	96.4	96.8	86.9	91.4
	SOL TIPO I	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Elaboración propia.

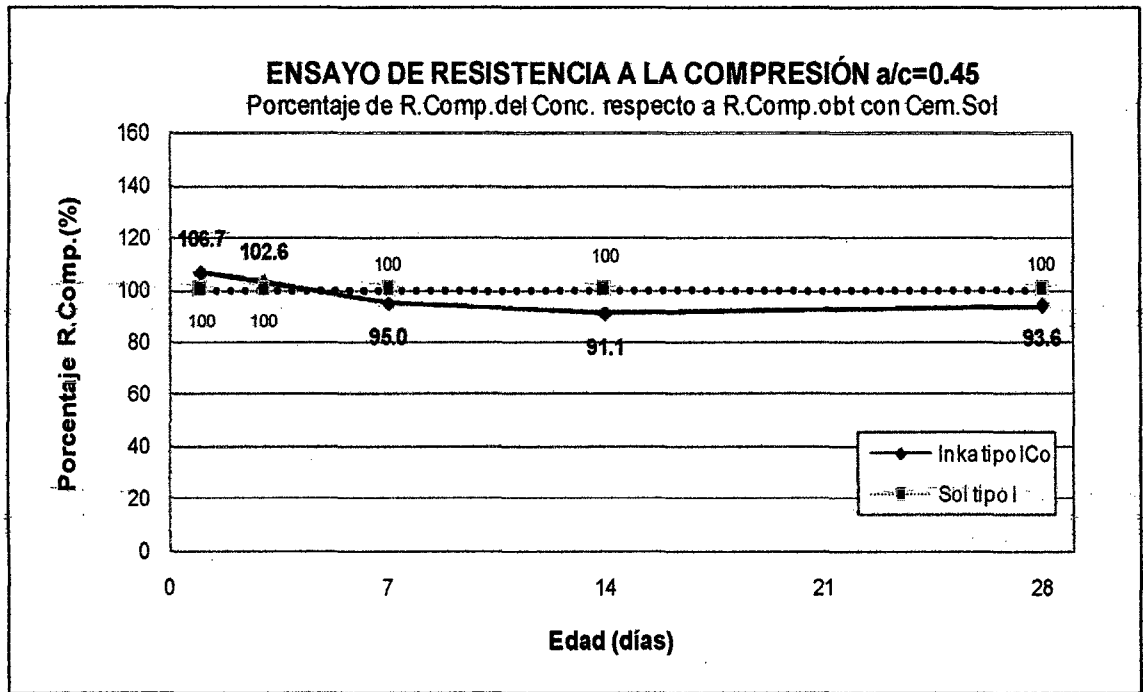


Gráfico 8.13A: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I, $a/c=0.45$.

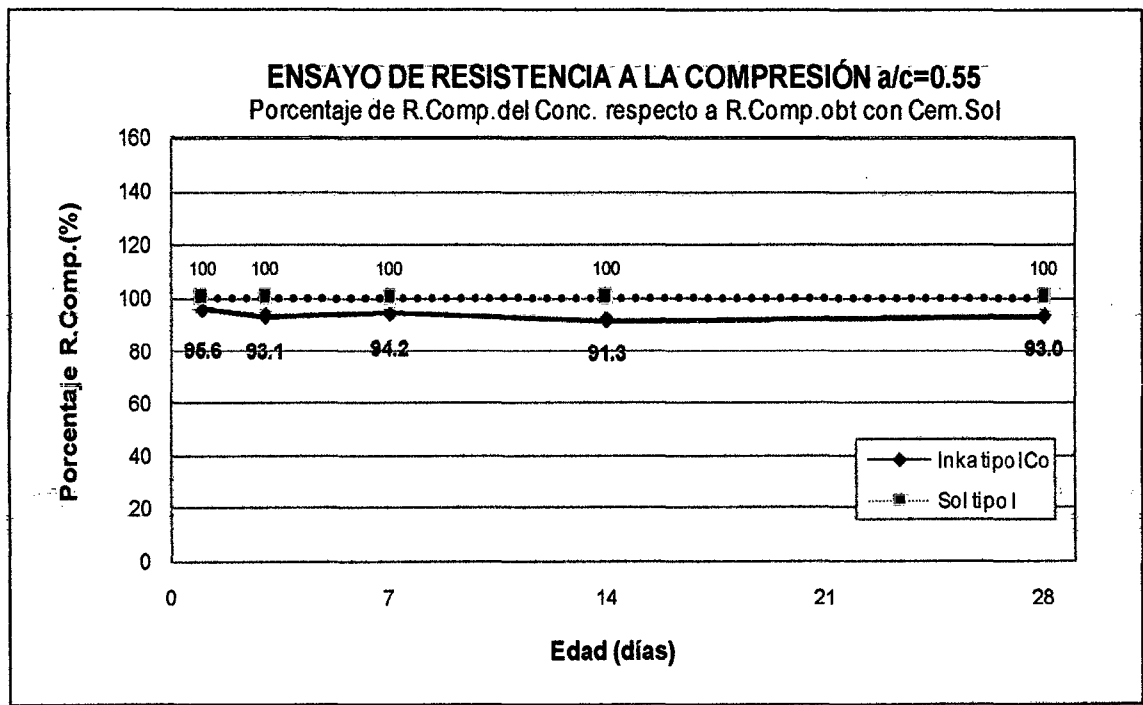


Gráfico 8.13B: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I, $a/c=0.55$.

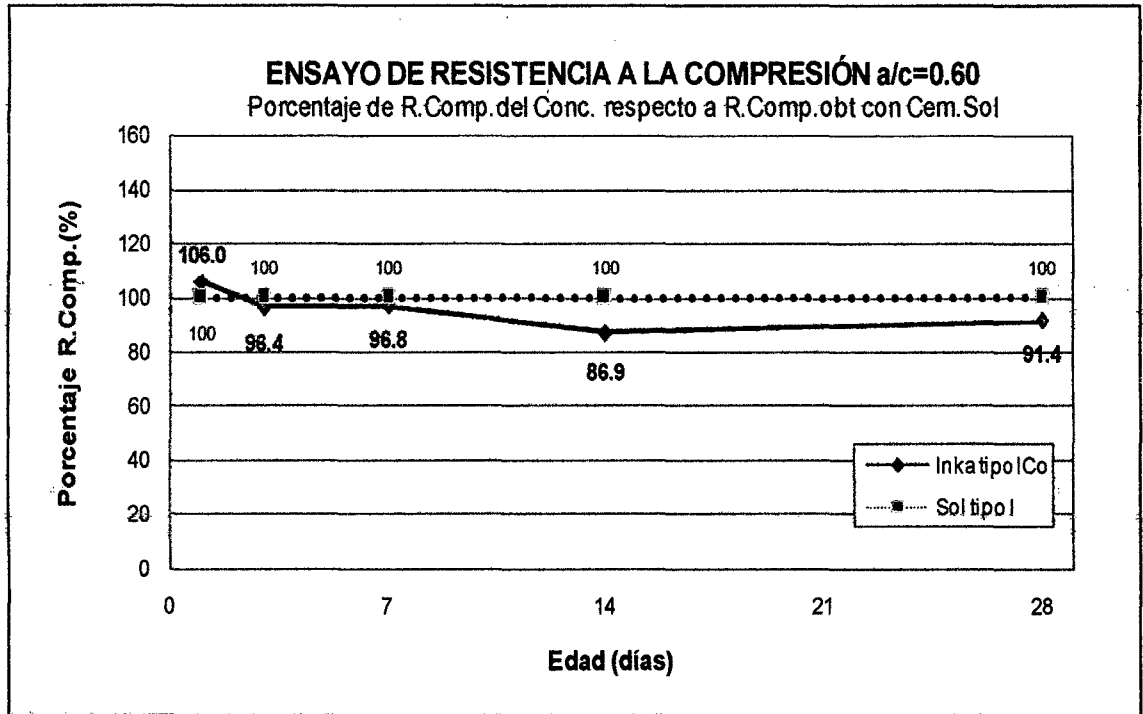


Gráfico 8.13C: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I, $a/c=0.60$.

Cuadro 8.14: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia del concreto a los 28 días.

a/c	TIPO DE CEMENTO	1d	3d	7d	14d	28d
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0.45	INKA TIPO Ico	60.2	73.5	83.8	89.2	100.0
	SOL TIPO I	52.8	67.0	82.6	91.6	100.0
0.55	INKA TIPO Ico	44.8	72.6	81.9	89.9	100.0
	SOL TIPO I	43.6	72.4	80.8	91.5	100.0
0.60	INKA TIPO Ico	37.6	72.0	82.2	87.5	100.0
	SOL TIPO I	32.4	68.3	77.7	92.1	100.0

Fuente: Elaboración propia.

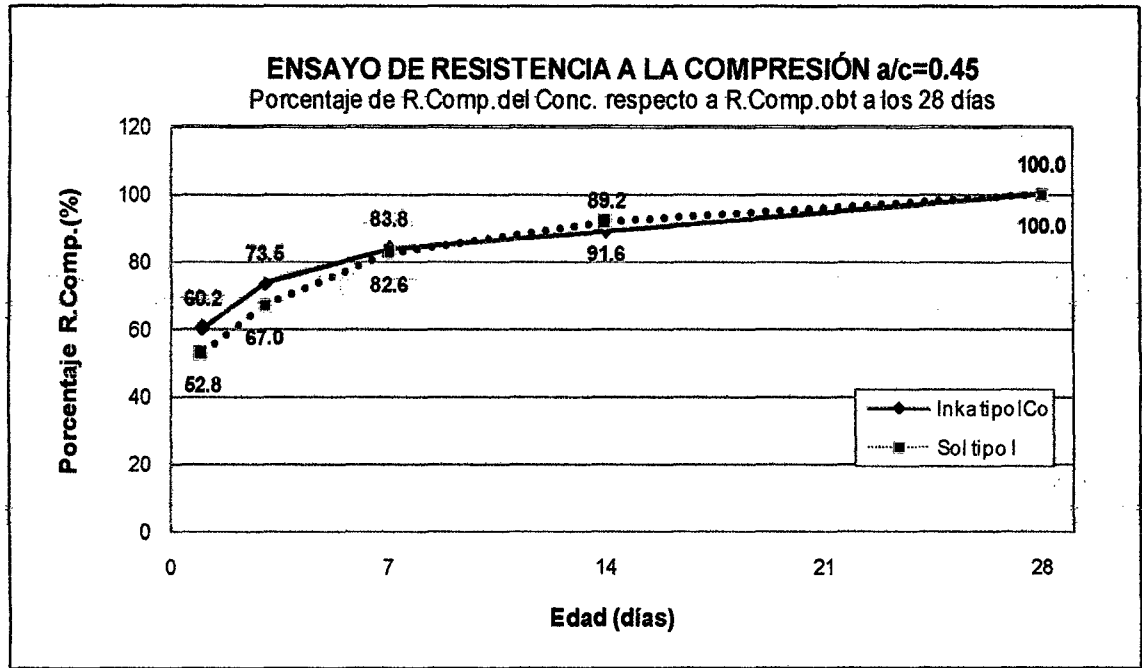


Gráfico 8.14A: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia a los 28 días, para a/c=0.45.

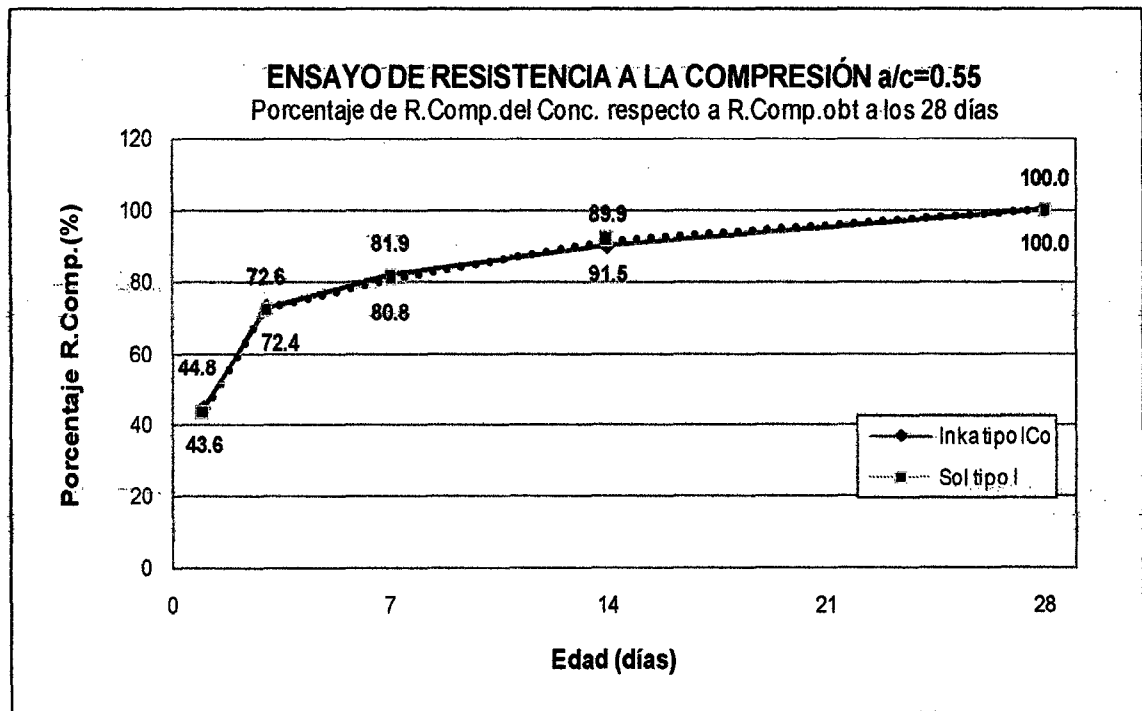


Gráfico 8.14B: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia a los 28 días, para a/c=0.55.

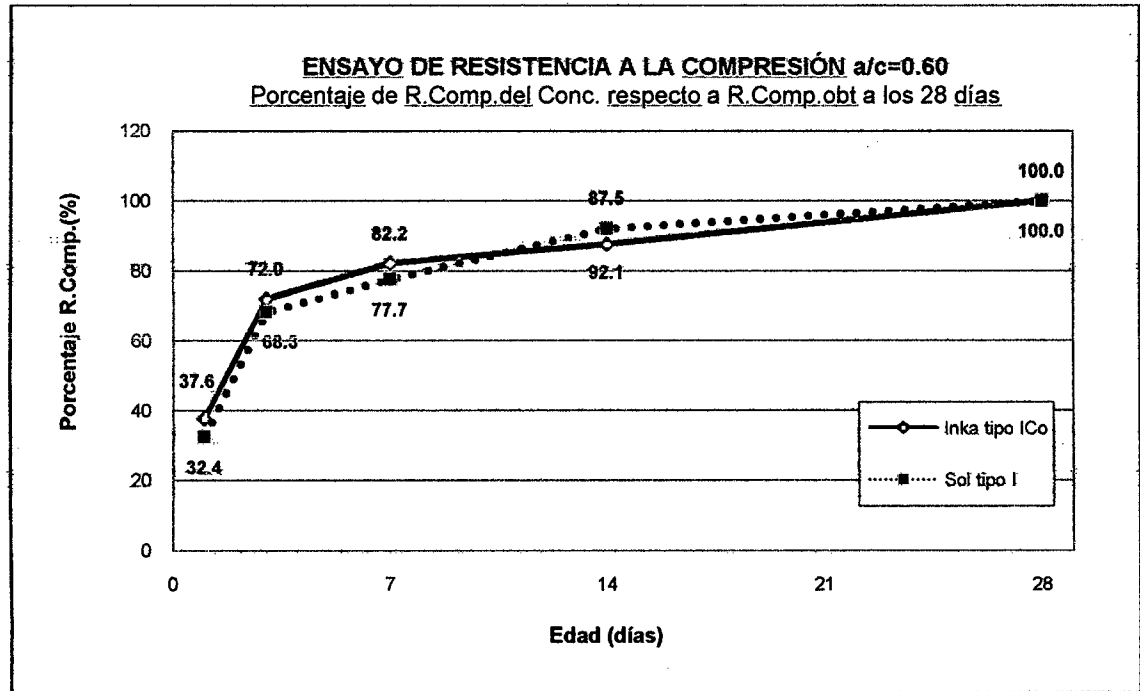


Gráfico 8.14C: Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14 y 28 días con respecto a la Resistencia a los 28 días, para $a/c=0.60$.

6.3.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Los resultados del ensayo de resistencia a la tracción en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.9, donde los valores obtenidos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 31.9 kg/cm^2 en concreto con cemento INKA tipo ICo; 30.7 kg/cm^2 en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 27.5 kg/cm^2 en concreto con cemento INKA tipo ICo; 30.2 kg/cm^2 en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 24.1 kg/cm^2 en concreto con cemento INKA tipo ICo; 29.6 kg/cm^2 en concreto con cemento SOL tipo I.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene un incremento de la resistencia en 3.90% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución de la resistencia en 8.70% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución de la resistencia en 18.60% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.15: Porcentaje de variación de la Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)	INKA TIPO ICo	31.9	27.5	24.1
	SOL TIPO I	30.7	30.2	29.6
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	103.9%	91.3%	81.4%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 5.2 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

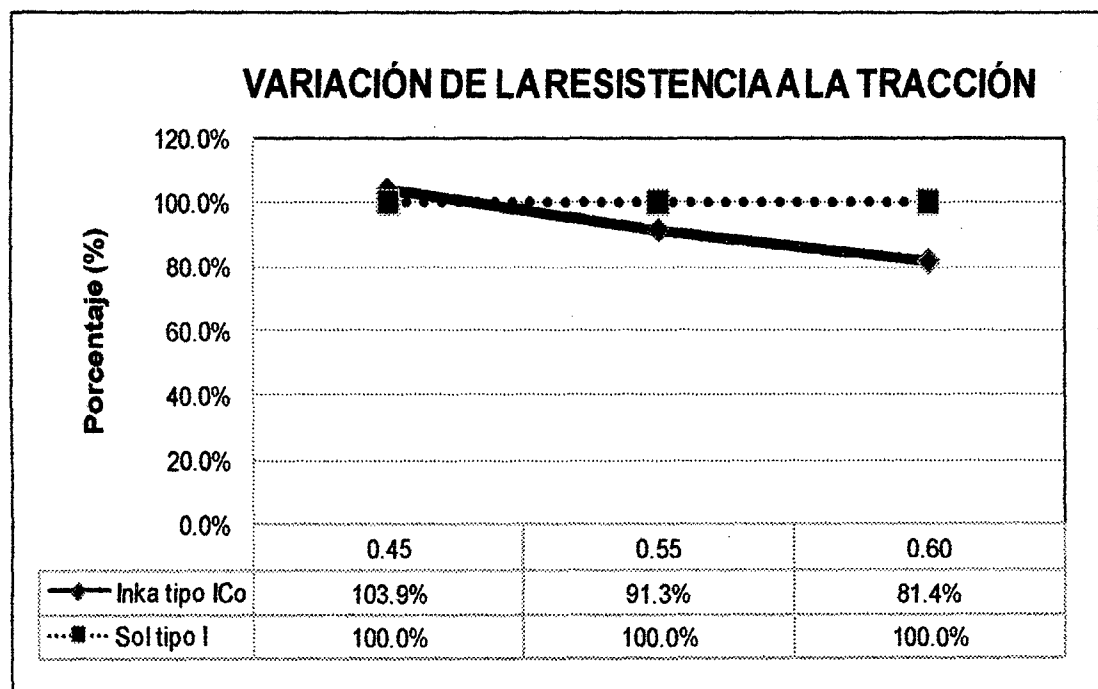


Gráfico 8.15: Porcentaje de variación de la Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días con respecto al concreto de ref. Sol tipo I.

8.3.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los resultados del ensayo de resistencia a la flexión en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.10, donde los valores obtenidos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 45.3 kg/cm² en concreto con cemento INKA tipo ICo; 51.8 kg/cm² en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 43.2 kg/cm² en concreto con cemento INKA tipo ICo; 38.9 kg/cm² en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 35.8 kg/cm² en concreto con cemento INKA tipo ICo; 34.7 kg/cm² en concreto con cemento SOL tipo I.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una disminución de la resistencia en 12.50% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene un incremento de la resistencia en 10.90% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene un incremento de la resistencia en 3.00% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.16: Porcentaje de variación de la Resistencia a la flexión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm ²)	INKA TIPO ICo	45.3	43.2	38.9
	SOL TIPO I	51.8	38.9	34.7
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	87.5%	110.9%	112.0%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%

Concreto de referencia: Sol Tipo I.

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3.10 se muestra la fotografía del ensayo. En el anexo 5.3 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

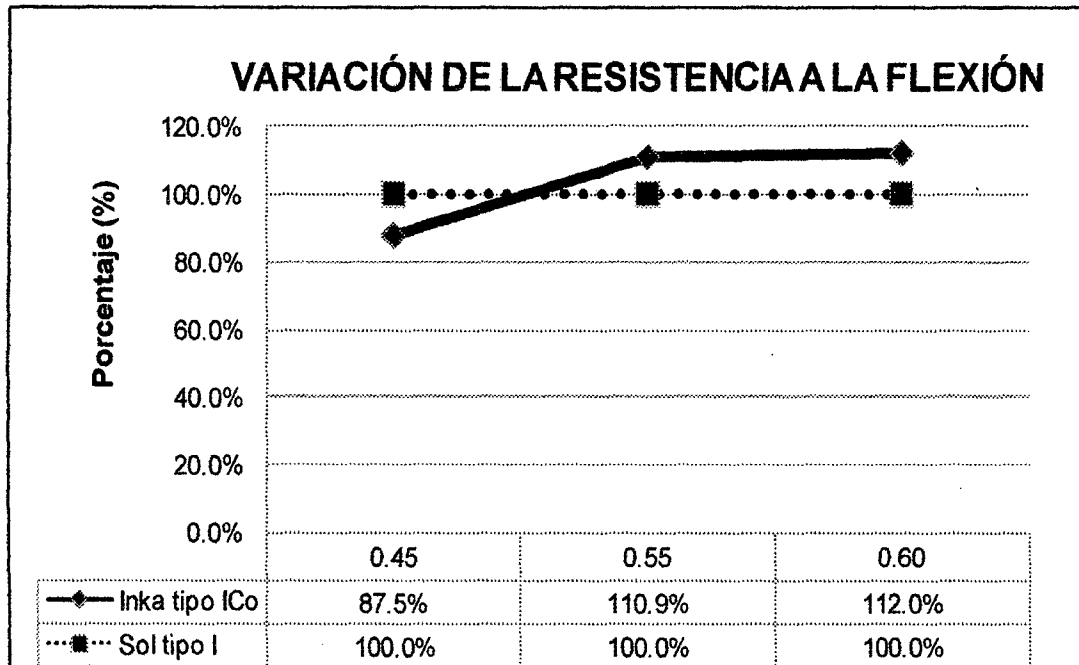


Gráfico 8.16: Porcentaje de variación de la Resistencia a la flexión a los 28 días con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

Cuadro 8.17: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación a/c=0.45.

TIPO DE CEMENTO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo a/c=0,45	3	20.7
	7	26.5
	14	30.4
	28	45.3
SOL TIPO I a/c=0,45	3	21.6
	7	30.3
	14	35.6
	28	51.8

Fuente: Elaboración propia.

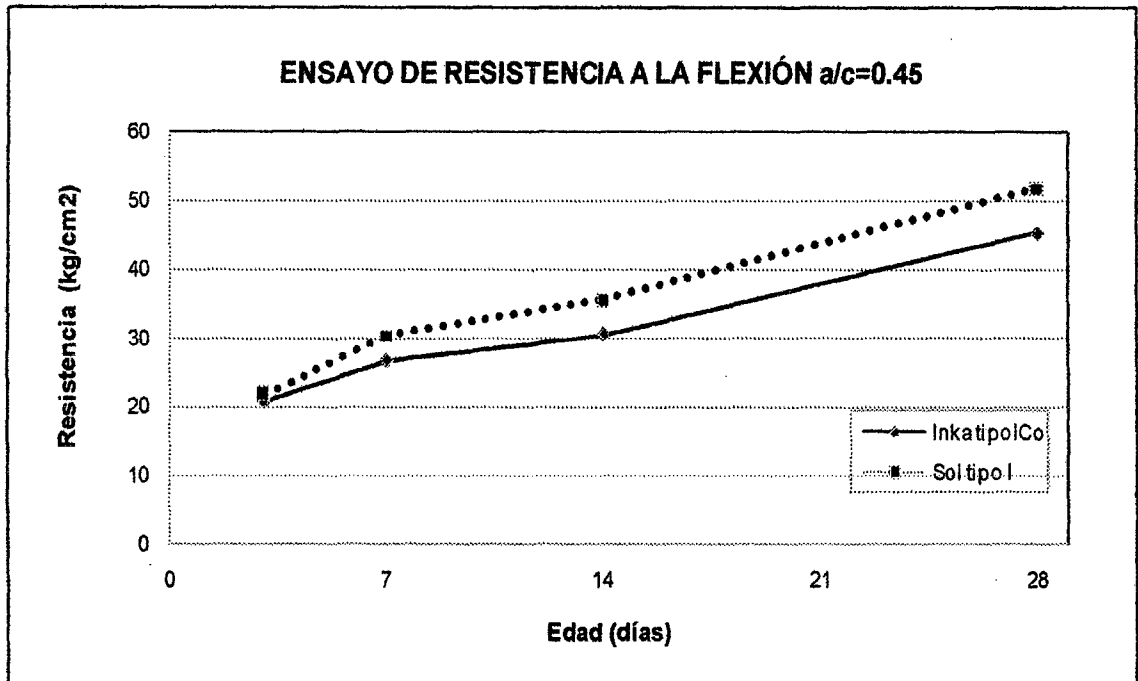


Gráfico 8.17: Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.45$.

Cuadro 8.18: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.

TIPO DE CEMENTO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo $a/c=0,55$	3	19.6
	7	26.3
	14	33.9
	28	43.2
SOL TIPO I $a/c=0,55$	3	18.0
	7	24.8
	14	32.6
	28	38.9

Fuente: Elaboración propia.

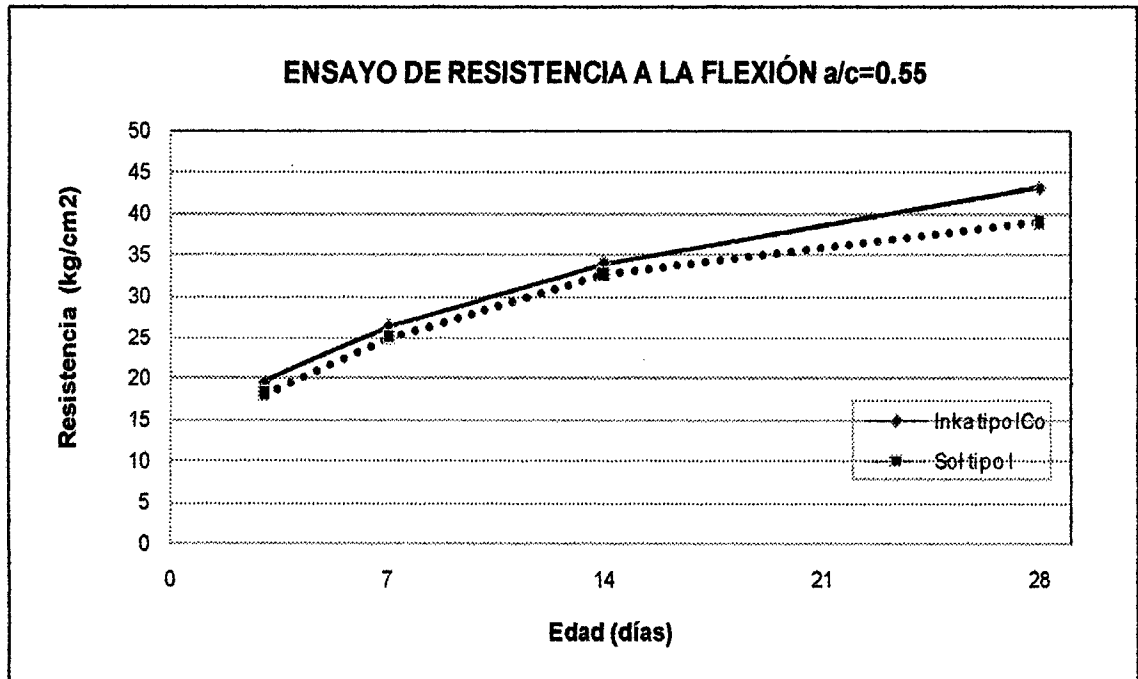


Gráfico 8.18: Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.55$.

Cuadro 8.19: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.

TIPO DE CEMENTO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm ²)
INKA TIPO ICo $a/c=0,60$	3	20.0
	7	25.5
	14	30.3
	28	38.9
SOL TIPO I $a/c=0,60$	3	19.7
	7	26.5
	14	31.4
	28	34.7

Fuente: Elaboración propia.

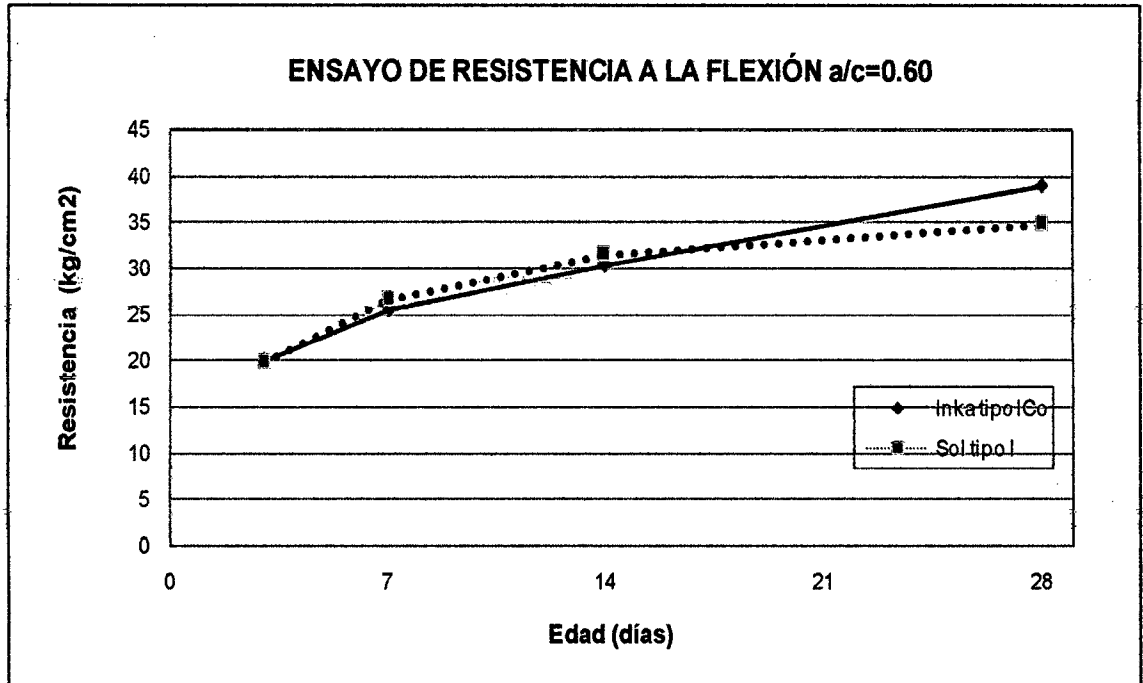


Gráfico 8.19: Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto a los 3, 7, 14 y 28 días para la relación $a/c=0.60$.

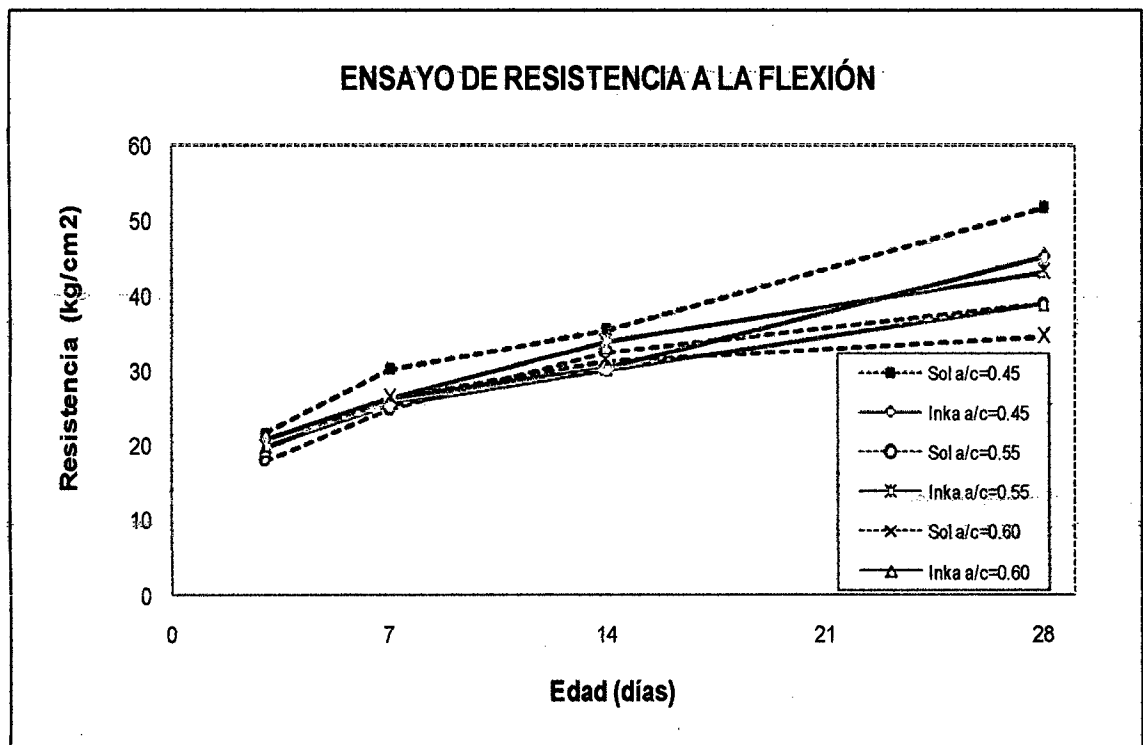


Gráfico 8.20: Ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto a los 3, 7, 14 y 28 días.

Cuadro 8.20: Resumen del ensayo de Resistencia a la flexión del Concreto a los 3, 7, 14 y 28 días.

	a/c	3	7	14	28
INKA TIPO ICo	0.45	20.7	26.5	30.4	45.3
	0.55	19.6	26.3	33.9	43.2
	0.60	20.0	25.5	30.3	38.9
SOL TIPO I	0.45	21.6	30.3	35.6	51.8
	0.55	18.0	24.8	32.6	38.9
	0.60	19.7	26.5	31.4	34.7

Fuente: Elaboración propia.

8.3.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO

Los resultados del ensayo de resistencia a la flexión en las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 8.21, donde los valores obtenidos fueron: Para la relación a/c 0.45 tenemos 4.92% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 4.93% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 tenemos 5.04% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 5.07% en concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 tenemos 5.08% en concreto con cemento INKA tipo ICo; 5.15% en concreto con cemento SOL tipo I.

Cuadro 8.21: Porcentaje de variación del Porcentaje de absorción con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

		a/c		
		0.45	0.55	0.60
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	INKA TIPO ICo	4.92	5.04	5.08
	SOL TIPO I	4.93	5.07	5.15
VARIACIÓN CON RESPECTO AL CONC. REF. SOL (%)	INKA TIPO ICo	99.8%	99.4%	98.6%
	SOL TIPO I	100.0%	100.0%	100.0%
Concreto de referencia: Sol Tipo I.				

Fuente: Elaboración propia.

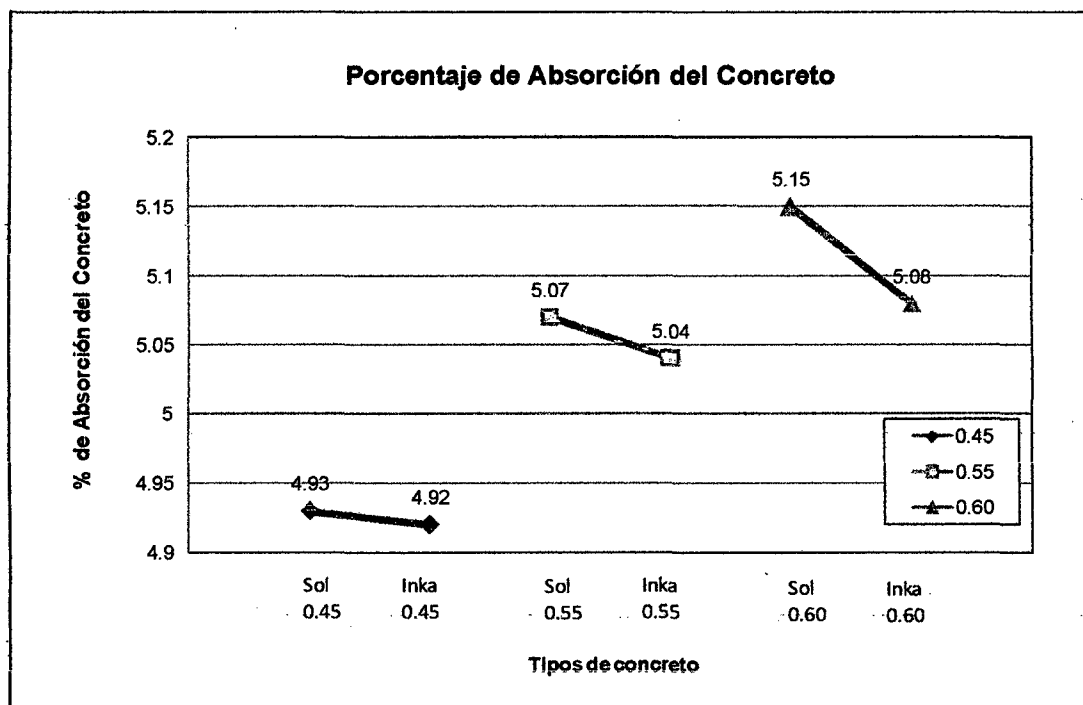


Gráfico 8.21A: Ensayo de Porcentaje de absorción del Concreto.

Se observa en los resultados que porcentualmente: Para la relación a/c 0.45 se tiene una disminución del porcentaje de absorción en 0.20% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.55 se tiene una disminución del porcentaje de absorción en 0.60% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I. Para la relación a/c 0.60 se tiene una disminución del porcentaje de absorción en 1.40% en concreto con cemento INKA tipo ICo respecto al concreto con cemento SOL tipo I.

En el anexo 5.4 se muestra el detalle de los resultados del ensayo.

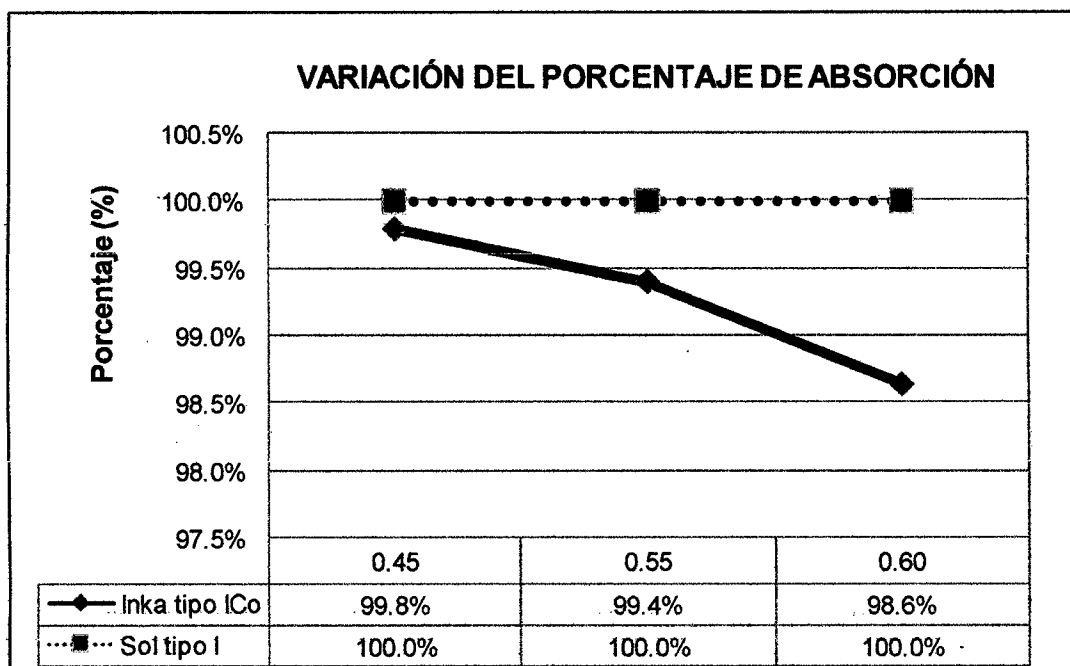


Gráfico 8.21B: Porcentaje de variación del Porcentaje de absorción con respecto al concreto de referencia Sol tipo I.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La presente tesis alcanzó los objetivos dados para su estudio, comprobando el comportamiento del concreto preparado con cemento portland con microfiller calizo en su estado fresco y endurecido mediante ensayos establecidos en las normas técnicas peruanas.

1. El Cemento INKA tipo ICo cumple con los requisitos químicos y físicos exigidos por las normas NTP 334.090 y ASTM C-595.
2. Los agregados empleados cumplen con la norma NTP 400.037. La arena y la piedra, analizándolos en conjunto como agregado global, cumplen con los husos granulométricos permitidos.
3. Consistencia: El valor del slump está en el rango de 3" a 5" que es un concreto de consistencia plástica y trabajabilidad media para todos los diseños. Los concretos preparados con cemento INKA tipo ICo tienen slump mayor en 1 pulg. a los concretos preparados con cemento SOL tipo I para la relación $a/c=0.45$.

Para las relaciones $a/c=0.55$ y $a/c=0.60$, las mezclas preparadas con cemento INKA tipo ICo tienen slump mayor en 0.5 pulg. a los concretos preparados con cemento SOL tipo I. El "filler" calcáreo le otorga mayor cohesión y retención de agua a las mezclas, aportándole mayor trabajabilidad y plasticidad en estado fresco.

4. Peso unitario: El peso unitario de los concretos preparados con cemento INKA tipo ICo, son inferiores en valor a los concretos preparados con cemento SOL tipo I, debido a que este cemento INKA tipo ICo presenta un $p.e.=3.02$ que es un valor menor al del cemento SOL tipo I que es de $p.e.=3.14$ y lo afecta para las distintas relaciones a/c según sus proporciones.
5. Contenido de aire: El porcentaje de aire atrapado en las mezclas usando concretos con cemento INKA tipo ICo es inferior en valor al porcentaje de aire atrapado en los concretos usando cemento SOL tipo I, por lo que se deduce que los concretos preparados con cemento INKA tipo ICo son más compactos que los preparados con cemento SOL tipo I. El porcentaje de aire de diseño es 1.50%. El concreto preparado con cemento INKA tipo ICo para la relación $a/c=0.45$ presenta un % de aire=1.06.

6. **Fluidez:** El % de fluidez de los concretos preparados con cemento INKA tipo ICo son mayores en valor a los concretos preparados con cemento SOL tipo I. Las mezclas con cemento INKA tipo ICo presentan microfiller calizo la cual actúa haciendo que las partículas de agua se retengan en mayor cantidad que con las mezclas de cemento SOL tipo I cuando la mezcla ya está depositada y compactada en el recipiente que lo contiene. El filler calizo contenido en el cemento actúa en el concreto como dispersante de los gránulos del cemento, pues acelera los procesos de hidratación.
7. **Exudación:** El % de exudación de los concretos preparados con cemento INKA tipo ICo son menores en valor a los concretos preparados con cemento SOL tipo I. Las mezclas con cemento INKA tipo ICo presentan microfiller calizo la cual actúa haciendo que las partículas de agua se retengan en mayor cantidad que con las mezclas de cemento SOL tipo I cuando la mezcla ya está depositada y compactada en el recipiente que lo contiene. Como aspecto positivo el filler calizo le otorga mayor retención de aguas a las mezclas obteniéndose una menor exudación.
8. **Tiempo de fraguado:** El tiempo de fraguado inicial y final de los concretos preparados con cemento INKA tipo ICo, son mayores para la relación $a/c=0.45$ en valor a los concretos preparados con cemento SOL tipo I, debido a la presencia de microfiller calizo, es decir el tiempo de ganancia de resistencia es mayor. Para las otras relaciones $a/c=0.55$ y $a/c=0.60$ los tiempos de fraguado inicial y final son iguales. Al igual que el cemento portland tipo I fragua más rápido que otros tipos de cemento. El microfiller calizo permite que el tiempo de fraguado sea ligeramente reducido por la formación acelerada de etringita.
9. **Temperatura:** La temperatura promedio de las mezclas de concreto con cemento con microfiller calizo son menores comparados a las mezclas con cemento tipo I. Para relaciones a/c 0.60 es menor en 4.5%, en tanto que para la relación a/c 0.45 es menor en 1.7%. Esto se debe a la presencia del microfiller calizo como adición.
10. El pH del cemento INKA tipo ICo es similar al pH del cemento SOL tipo I, tiene un valor alrededor de 13, por lo que la mezcla no constituye un agente corrosivo en caso de usarse conjuntamente con acero de refuerzo para elaborar concreto armado.
11. **Resistencia a la compresión a edades iniciales y finales:** Las resistencias

iniciales de las mezclas con cemento con microfiller calizo se incrementan por la actividad del CaCO_3 . La resistencia final de las mezclas elaboradas con este tipo de cemento, suele ser menor a la que se obtendría con el cemento tipo I, en razón a que en edades mayores el CaCO_3 ya no genera mayor incremento en la resistencia a comparación de las mezclas con cemento tipo I cuya resistencia se incrementa hasta los 45 días.

12. Resistencia a la compresión para $a/c=0.45$ y a los 28 días: Para el caso de una relación $a/c=0.45$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene una resistencia a la compresión inferior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 6.4 %.

Teóricamente el valor esperado para esta relación agua cemento es de 380 kg/cm^2 , sin la inclusión de aire ni aditivo, por lo que ambos concretos sobrepasan este valor.

13. Resistencia a la compresión para $a/c=0.55$ y a los 28 días: Para el caso de una relación $a/c=0.55$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene una resistencia a la compresión inferior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 7.0 %.

Teóricamente el valor esperado para esta relación agua cemento es de 300 kg/cm^2 , sin la inclusión de aire ni aditivo, por lo que ambos concretos sobrepasan este valor.

14. Resistencia a la compresión para $a/c=0.60$ y a los 28 días: Para el caso de una relación $a/c=0.60$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene una resistencia a la compresión inferior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 8.6 %.

Teóricamente el valor esperado para esta relación agua cemento es de 264 kg/cm^2 , sin la inclusión de aire ni aditivo, por lo que ambos concretos sobrepasan este valor.

15. Resistencia a la tracción por compresión diametral para $a/c=0.45$ y a los 28 días: Con respecto a la resistencia a la tracción por compresión diametral en el caso de una relación $a/c=0.45$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene un modulo de rotura superior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 3.9%.

16. Resistencia a la tracción por compresión diametral para $a/c=0.55$ y a los 28 días: Con respecto a la resistencia a la tracción por compresión diametral en el caso de una relación $a/c=0.55$ y a los 28 días de edad, el concreto

preparado con cemento INKA tipo ICo tiene un modulo de rotura inferior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 8.7%.

17. Resistencia a la tracción por compresión diametral para $a/c=0.60$ y a los 28 días: Con respecto a la resistencia a la tracción por compresión diametral en el caso de una relación $a/c=0.60$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene un modulo de rotura inferior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 18.6%.
18. Resistencia a la flexión para $a/c=0.45$ y a los 28 días: Con respecto a la resistencia a la flexión en el caso de una relación $a/c=0.45$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene un modulo de rotura inferior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 12.5%.
19. Resistencia a la flexión para $a/c=0.55$ y a los 28 días: Con respecto a la resistencia a la flexión en el caso de una relación $a/c=0.55$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene un modulo de rotura superior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 10.9%.
20. Resistencia a la flexión para $a/c=0.60$ y a los 28 días: Con respecto a la resistencia a la flexión en el caso de una relación $a/c=0.60$ y a los 28 días de edad, el concreto preparado con cemento INKA tipo ICo tiene un modulo de rotura superior al concreto preparado con cemento SOL tipo I, en 3.0%.

RECOMENDACIONES

A continuación se da un alcance de recomendaciones a tener en cuenta para el uso del cemento portland con microfiller calizo.

- a) Cuando se requieran propiedades especiales del concreto por cuestiones de durabilidad debido a que será sometido a un ambiente agresivo se deberá especificar – además de una baja relación a/c del concreto – la utilización de cementos con propiedades especiales, donde se especificará cuál sería el más adecuado en cada caso. Se ha probado que el cemento con microfiller calizo presenta moderada resistencia a los sulfatos y moderado caior de hidratación.
- b) Según los resultados obtenidos es conocida la variación de propiedades de las mezclas de concreto en función de la relación agua / cemento (a/c) utilizada en su preparación. Esto indica una mayor sensibilidad al exceso de agua por parte de los concretos preparados con cemento con microfiller calizo, existiendo una mayor variación de resistencia a la compresión al variar la relación a/c en comparación a los concretos preparados con cemento normal.
- c) Se aconseja dosificar en peso y realizar correcciones diarias en las dosificaciones en función de las características y contenido de humedad de los agregados a fin de obtener resultados óptimos. En obras pequeñas, para la construcción de vigas y columnas de amarre, dinteles o elementos no estructurales, los agregados pueden ser dosificados en volumen aparente y el cemento portland en bolsas enteras.
- d) Luego de preparados los morteros o concretos es necesario realizar un cuidadoso curado de los mismos, para lograr una adecuada hidratación del cemento y, consecuentemente, una óptima resistencia mecánica. Se comprobó que concretos preparados con cemento con microfiller calizo adquiere mayor ganancia de resistencia en los primeros días.
- e) Las bolsas de envase del cemento Inka cuentan con una envoltura plástica en el interior de sus dos capas de papel dándole mayor protección al cemento, en comparación a las bolsas de cemento Sol las cuales sus envolturas son solo de papel.

- f) La utilización del cemento INKA tipo ICo con microfiller calizo, implica la obtención de mezclas de concreto que en estado fresco presentan muy buena trabajabilidad, plasticidad y terminación superficial a partir de los finos aportados por el "filler" calcáreo. En estado endurecido, las mezclas presentan mayor resistencia inicial. Todos estos beneficios hacen del cemento INKA tipo ICo un producto adecuado para ser utilizado en la fabricación de elementos premoldeados y concreto elaborado, sin olvidar las ventajas que se obtienen a partir de su utilización en trabajos de albañilería.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI, "Manual of Concrete Practice 2002", 201.2R-92 Guide to Durable Concrete, ACI, USA, 2002.
2. Asociación de Productores de Cemento, "Capacidad Instalada - Cementeras", Estadística, Lima, Perú, 2012.
3. Asociación de Productores de Cemento, "Química del Cemento", Boletín Técnico, Lima, Perú, 2008.
4. ASTM, "C 150 (2000), Standard Specification for Portland Cement", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2000.
5. ASTM, "C 595 (2000), Standard Specification for Blended Hydraulic Cements", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2000.
6. ASTM, "C 1157 (2000), Standard Performance Specification for Hydraulic Cement", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2000.
7. Barzola Gastelú C., "Apuntes del curso de tecnología del concreto", FIC - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2008.
8. Becker E., "Cemento Portland – Características y Recomendaciones de Uso", LOMA NEGRA CIASA, Argentina, 2000.
9. Becker E., "Cemento Portland con Filler Calcáreo", LOMA NEGRA CIASA, Argentina, 2002.
10. Cachay Huamán R., "Diseño de mezclas por el método del agregado global y módulo de finura, para concretos de mediana a alta resistencia", FIC - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1995.
11. Caliza Cemento Inca S.A., "Información de Control de Calidad del Cemento Inka", Lima, Perú, 2011.
12. Cementos Lima S.A., "Información de Control de Calidad del Cemento Sol", Lima, Perú, 2011.
13. Gonzáles de La Cotera M., "Adiciones minerales del cemento portland", ASOCEM, VI Congreso de Ingeniería Química, Lima, Perú, 2002.
14. Gonzáles de La Cotera M., "Comportamiento filler calizo en los concretos autocompactados", ASOCEM, Lima, Perú, 2003.
15. Gonzáles de La Cotera M., "Estudio de un cemento portland ecológico", ASOCEM, Lima, Perú, 2002.
16. INDECOPI, "NTP 334.009:2011, Cementos. Cementos Portland. Requisitos", CNB-INDECOPI, Lima, Perú, 2011.

17. INDECOPI, "NTP 334.082:2011, Cementos. Cementos Portland, Especificación de la Performance", CNB-INDECOPI, Lima, Perú, 2011.
18. INDECOPI, "NTP 334.090:2011, Cementos. Cementos Portland adicionados. Requisitos", CNB-INDECOPI, Lima, Perú, 2011.
19. Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Perú: Informe económico trimestral 2012", Producción, Sector construcción, Producción de cemento, Lima, Perú, 2012.
20. Shetty M. S., "Concrete Technology: Theory and Practice", Editorial S. Chand & Company Ltd, USA, 2005.
21. Torre Carrillo A., "Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles", FIC - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2004.
22. Túpac Aliaga R., "Características y Comportamiento del Supercemento Puzolánico Atlas", Tesis de grado FIC - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1988.
23. Unión de Concreteras S.A., "Materiales cementantes suplementarios", Información Técnica, Capacitación, Lima, Perú, 2008.
24. Zapata Degregori M., "Control de costos de una operación minera mediante el método de resultado operativo", Tesis de grado FII - Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 2003.

ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: AGREGADOS	134
ANEXO 2: DISEÑO DE MEZCLA	142
ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS	150
ANEXO 4: ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO	155
ANEXO 5: ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO	166
ANEXO 6: CUADROS DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS	183
ANEXO 7: CONDICIONES AMBIENTALES	187

ANEXO 1

AGREGADOS

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

AGREGADO GRUESO

Procedencia: Cantera Gloria

1.- PESO UNITARIO (PU)

1.1.- Peso Unitario Suelto (PUS)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra suelta + vasija	gr.	20750.0	20550.0	
Peso de la vasija	gr.	6950.0	6950.0	
Peso de la muestra suelta	gr.	13800.0	13600.0	13700.0 (A)
Volumen del recipiente	cm ³	9438.9	9438.9	9438.9 (B)

$$PUS = (A) / (B) = 1.45 \text{ gr/cm}^3$$

1.2.- Peso Unitario Compactado (PUC)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra compactada + vasija	gr.	22150.0	22400.0	
Peso de la vasija	gr.	6950.0	6950.0	
Peso de la muestra compactada	gr.	15200.0	15450.0	15325.0 (A)
Volumen del recipiente	cm ³	9438.9	9438.9	9438.9 (B)

$$PUC = (A) / (B) = 1.62 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO (PE) Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABS)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra secada al horno	gr.	3964.5	3963.5	3964.0 (A)
Peso de la muestra con superficie seca	gr.	4000.0	4000.0	4000.0 (B)
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla	gr.	4423.5	4429.0	
Peso de la canastilla	gr.	1890.0	1890.0	
Peso de la muestra saturada en agua	gr.	2533.5	2539.0	2536.3 (C)

$$P.E. \text{ de masa} = (A) / (B-C) = 2.708 \text{ gr/cm}^3$$

$$P.E. \text{ de masa superf. seco} = (B) / (B-C) = 2.733 \text{ gr/cm}^3$$

$$P.E. \text{ aparente} = (A) / (A-C) = 2.776 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ ABS} = (B - A) \times 100 / (A) = 0.91$$

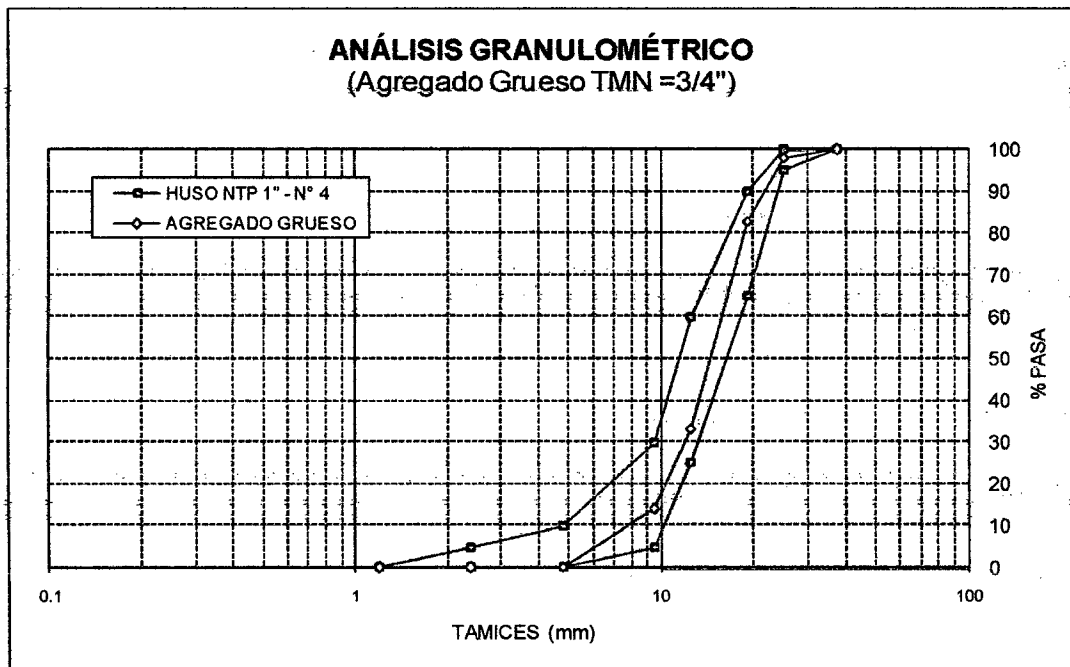
3.- CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra húmeda	gr.	1000.0	1000.0	
Peso de la muestra secada al horno	gr.	995.4	994.6	995.0 (B)
Contenido de agua	gr.	4.6	5.4	5.0 (A)

$$CH = (A) / (B) \times 100 = 0.50 \%$$

4.- GRANULOMETRIA

TAMIZ	ENSAYO (gr.)			Promedio (gr.)	% Retenido	% Retenido Acumul.	% que Pasa
	1	2	3				
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	213.5	235.5	197.5	215.5	1.8	1.8	98.2
3/4"	1833.0	1904.5	1734.0	1823.8	15.2	17.0	83.0
1/2"	5954.0	5869.0	6106.5	5976.5	49.8	66.8	33.2
3/8"	2271.5	2257.0	2348.0	2292.2	19.1	85.9	14.1
Nº4	1706.5	1696.5	1602.0	1668.3	13.9	99.8	0.2
Nº8 (fondo)	21.5	37.5	12.0	23.7	0.2	100.0	0.0
total =	12000.0	12000.0	12000.0				



5.- MODULO DE FINURA (MF)

TAMIZ	% Ret. Acum.	
1"		
3/4"	17.0	
1/2"		
3/8"	85.9	
Nº4	99.8	$MF = (A) / 100 = 7.03$
Nº8	100.0	
Nº16	100.0	
Nº30	100.0	
Nº50	100.0	
Nº100	100.0	
suma=	702.7	(A)

6.- SUPERFICIE ESPECÍFICA

	(A)	(B)	(C)	
TAMIZ	Tamaño de abertura (mm)	Tamaño Prom. de abertura (mm)	% Retenido	(B) / (A)
1 1/2"	37.50			
1"	25.40	31.45	1.80	0.06
3/4"	19.05	22.23	15.20	0.68
1/2"	12.70	15.88	49.80	3.14
3/8"	9.53	11.11	19.10	1.72
Nº4	4.76	7.14	13.90	1.95
Nº8 (fondo)	2.38	3.57	0.20	0.06
		Suma =	7.60	(D)
Superficie Especifica (cm ² /gr) = (6xD) / (10xP.E) =			1.7	
donde: P.E = Peso Especifico de masa				

AGREGADO FINO

Procedencia: Cantera Trapiche

1.- PESO UNITARIO (PU)

1.1.- Peso Unitario Suelto (PUS)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra suelta + vasija	gr.	7420.0	7360.0	
Peso de la vasija	gr.	2750.0	2750.0	
Peso de la muestra suelta	gr.	4670.0	4610.0	4640.0 (A)
Volumen del recipiente	cm ³	2832.0	2832.0	2832.0 (B)

$$PUS = (A) / (B) = 1.64 \text{ gr/cm}^3$$

1.2.- Peso Unitario Compactado (PUC)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra compactada + vasija	gr.	7970.0	7950.0	
Peso de la vasija	gr.	2750.0	2750.0	
Peso de la muestra compactada	gr.	5220.0	5200.0	5210.0 (A)
Volumen del recipiente	cm ³	2832.0	2832.0	2832.0 (B)

$$PUC = (A) / (B) = 1.84 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECIFICO (PE) Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABS)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón	gr.	675.0	675.0	
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua	gr.	988.0	988.0	
Peso del agua	gr.	313.0	313.0	313.0 (W)
Peso (arena secada al horno + balón)	gr.	671.0	670.5	
Peso del balón	gr.	175.0	175.0	175.0
Peso de la arena secada al horno	gr.	496.0	495.5	495.8 (A)
Volumen del balón	ml.	500.0	500.0	500.0 (V)

$$P.E. \text{ de masa} = (A) / (V-W) = 2.651 \text{ gr/cm}^3$$

$$P.E. \text{ de masa superf. seco} = 500 / (V-W) = 2.674 \text{ gr/cm}^3$$

$$P.E. \text{ aparente} = (A) / ((V-W)-(500-A)) = 2.713 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ ABS} = (500 - A) \times 100 / (A) = 0.86$$

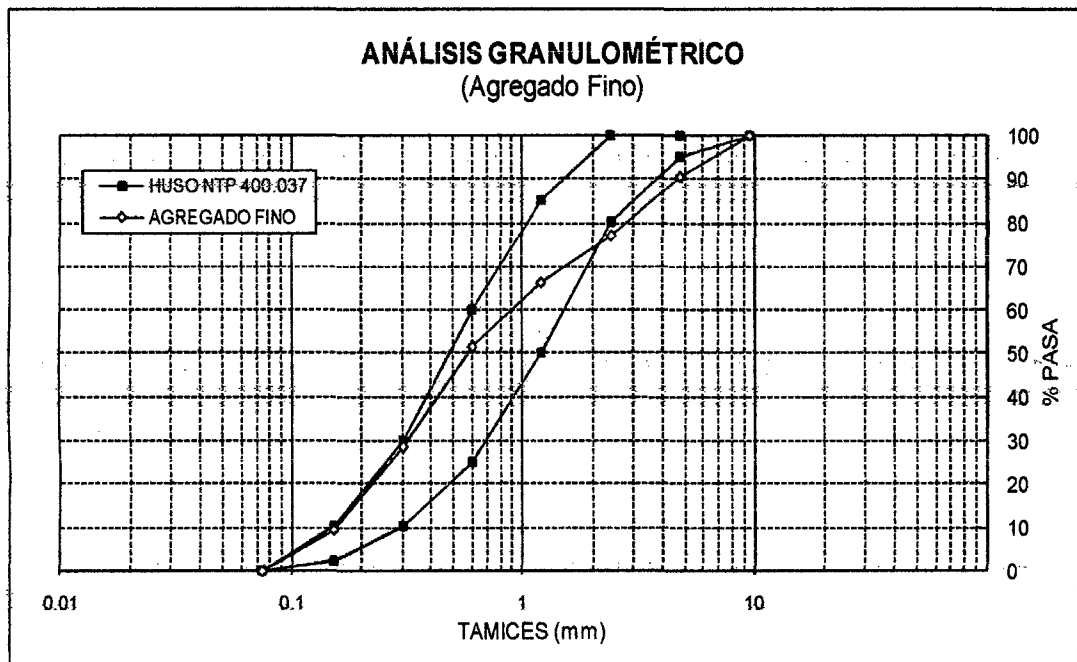
3.- CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra húmeda	gr.	500.0	500.0	
Peso de la muestra secada al horno	gr.	494.5	494.5	494.5 (B)
Contenido de agua	gr.	5.5	5.5	5.5 (A)

$$CH = (A) / (B) \times 100 = 1.11 \%$$

4.- GRANULOMETRÍA

TAMIZ	ENSAYO (gr.)		Promedio (gr.)	% Retenido	% Retenido Acumul.	% que Pasa
	1	2				
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	100.00
Nº4	47.0	48.0	47.5	9.50	9.50	90.50
Nº8	64.0	70.0	67.0	13.40	22.90	77.10
Nº16	51.7	57.3	54.5	10.90	33.80	66.20
Nº30	78.9	71.1	75.0	15.00	48.80	51.20
Nº50	113.7	115.3	114.5	22.90	71.70	28.30
Nº100	98.5	91.5	95.0	19.00	90.70	9.30
Fondo	46.2	46.8	46.5	9.30	100.00	0.00
total =	500.0	500.0				



5.- MODULO DE FINURA (MF)

TAMIZ	% Ret. Acum.
3/8"	0.0
Nº4	9.5
Nº8	22.9
Nº16	33.8
Nº30	48.8
Nº50	71.7
Nº100	90.7
suma=	277.4 (A)

$$MF = (A) / 100 = 2.77$$

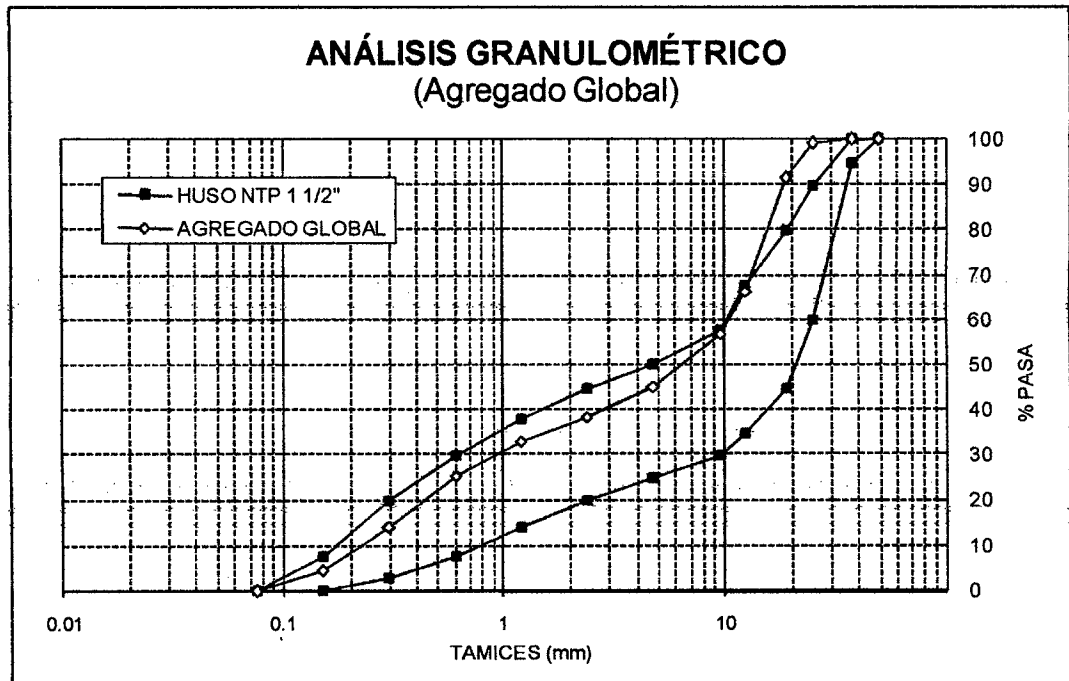
6.- SUPERFICIE ESPECÍFICA				
		(A)	(B)	(C)
TAMIZ	Tamaño de abertura (mm)	Tamaño Prom. de abertura (mm)	% Retenido	(B) / (A)
3/8"	9.53			
Nº4	4.76	7.14	9.50	1.33
Nº8	2.38	3.57	13.40	3.75
Nº16	1.19	1.79	10.90	6.10
Nº30	0.60	0.89	15.00	16.80
Nº50	0.30	0.45	22.90	51.29
Nº100	0.15	0.22	19.00	85.11
Nº200	0.07	0.11	9.30	83.32
			Suma =	247.70 (D)
Superficie Especifica (cm ² /gr) = (6xD) / (10xP.E.) = 56.1				
donde: P.E = Peso Especifico de masa				
7.- PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA Nº200				
	Unid.	ENSAYO		Prom
		1	2	
Peso seco inicial	gr.	1000.0	1000.0	1000.0 (A)
Peso seco final	gr.	954.5	951.5	953.0 (B)
% que pasa la malla Nº200 = (A - B) / (A) x 100 =		4.70		

AGREGADO GLOBAL

PIEDRA	50%
ARENA	50%

1.- GRANULOMETRÍA

TAMIZ	COMBINACION		COMBINACION		A. Global % Retenido	A. Global % Ret. Acum.	A. Global % que pasa
	A. Grueso % Retenido	A. Fino % Retenido	A. Grueso 50%	A. Fino 50%			
1 1/2"	0.00		0.00		0.00	0.00	100.00
1"	1.80		0.90		0.90	0.90	99.10
3/4"	15.20		7.60		7.60	8.50	91.50
1/2"	49.80		24.90		24.90	33.40	66.60
3/8"	19.10	0.00	9.55	0.00	9.55	42.95	57.05
Nº4	13.90	9.50	6.95	4.75	11.70	54.65	45.35
Nº8	0.20	13.40	0.10	6.70	6.80	61.45	38.55
Nº16		10.90		5.45	5.45	66.90	33.10
Nº30		15.00		7.50	7.50	74.40	25.60
Nº50		22.90		11.45	11.45	85.85	14.15
Nº100		19.00		9.50	9.50	95.35	4.65
Fondo		9.30		4.65	4.65	100.00	0.00



2.- MODULO DE FINURA (MF)

TAMIZ	% Ret. Acum.
1 1/2"	0.00
1"	
3/4"	8.50
1/2"	
3/8"	42.95
Nº4	54.65
Nº8	61.45
Nº16	66.90
Nº30	74.40
Nº50	85.85
Nº100	95.35
suma =	490.05 (A)

$$MF = (A) / 100 = 4.90$$

ANEXO 2

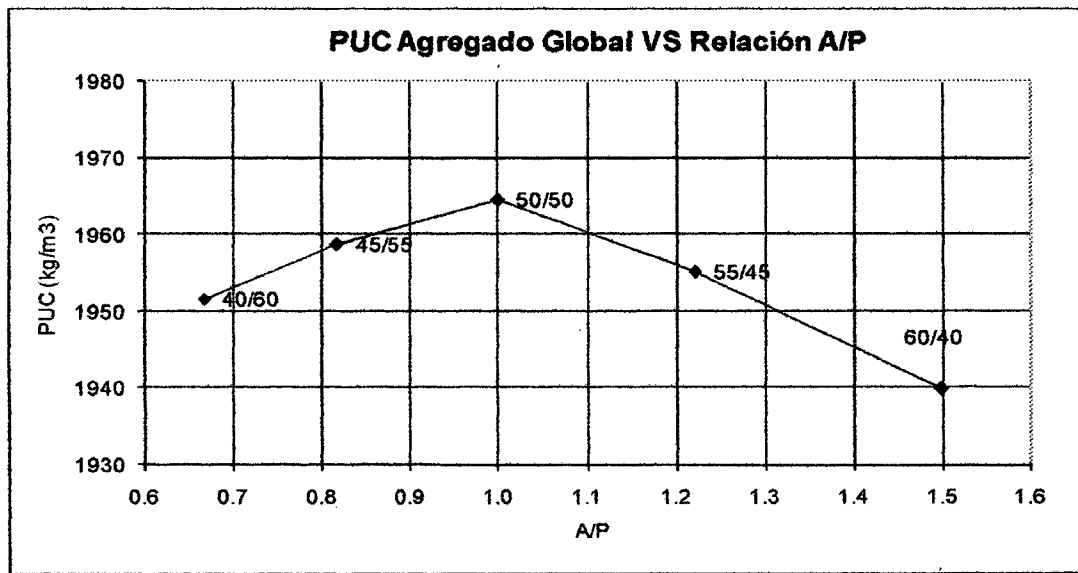
DISEÑO DE MEZCLAS

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

2.1 PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) DEL AGREGADO GLOBAL Y RELACIÓN A/P

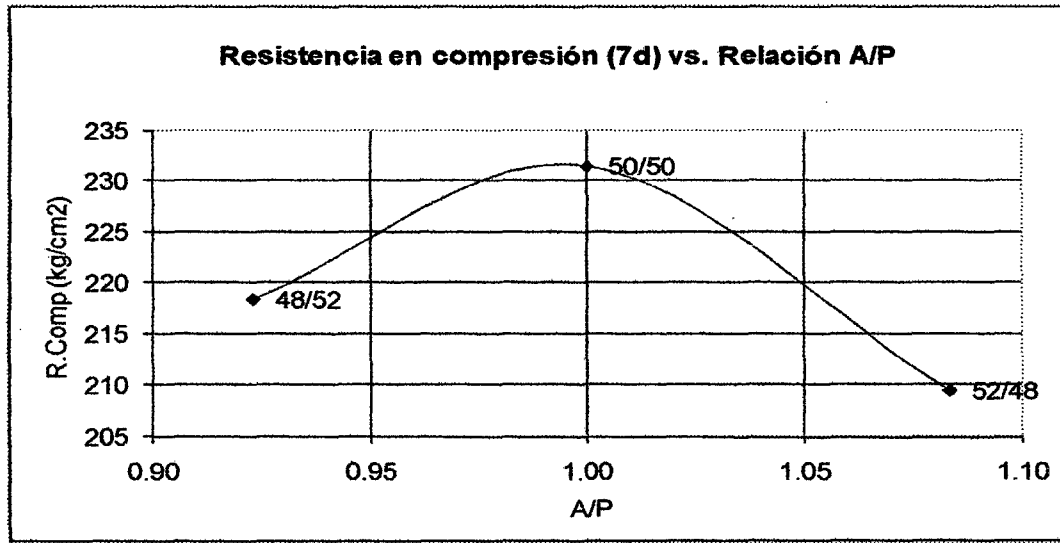
%				Pesomuestra+Pesobaide			Pesomuestra			Peso Prom.	P.U.C.
A	P	A/P	A/P	1	2	3	1	2	3	(kg)	(kg/m ³)
40	60	0.67	40/60	39.45	39.40	39.45	27.65	27.60	27.65	27.63	1951.7
45	55	0.82	45/55	39.55	39.55	39.50	27.75	27.75	27.70	27.73	1958.8
50	50	1.00	50/50	39.60	39.65	39.60	27.80	27.85	27.80	27.82	1964.7
55	45	1.22	55/45	39.45	39.50	39.50	27.65	27.70	27.70	27.68	1955.3
60	40	1.50	60/40	39.25	39.30	39.25	27.45	27.50	27.45	27.47	1940.0

A = Arena	Peso del balde (kg) =	11.80
P = Piedra	Vol. del balde (m ³) =	0.014158



2.2 RESISTENCIA EN COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS (A/P = 48/52, 50/50, 52/48)

A/P		Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)
48/52	0.92	39200	15.00	176.72	221.83	218.5
		33900	14.94	175.30	193.38	
		42000	14.92	174.84	240.23	
50/50	1.00	40600	15.00	176.72	229.75	231.5
		40900	15.00	176.72	231.45	
		40700	14.90	174.37	233.42	
52/48	1.08	38900	15.00	176.72	220.13	209.5
		36000	14.95	175.54	205.08	
		35700	14.95	175.54	203.37	



2.3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA HALLAR LA DOSIFICACIÓN DE LAS TANDAS DE PRUEBA EN LOS CONCRETOS PATRONES

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo para hallar el diseño de mezcla de los concretos patrones. Se toma como ejemplo la relación A/C=0.55 con 193 l de agua por 1m³ de concreto.

Cont. de Humedad (arena) = 1.11

Cont. de Humedad (piedra) = 0.50

PROCEDIMIENTO

- 1) Se elige la relación A/C, para este ejemplo se utiliza A/C=0.55.
- 2) Se elige el asentamiento que debe cumplir la tanda de prueba: 3 1/2"
- 3) Se estima aproximadamente el contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto. Según las tablas de diseño de mezcla de concreto del ACI (Cuadro A2.1): Para TNM 1" – 1.5% del volumen de la mezcla.
- 4) Se estima la cantidad de agua por 1m³ de concreto. Según las tablas de diseño de mezcla de concreto del ACI (Cuadro A2.1): Para TNM 1" - 193 l por 1m³ de concreto. Si la tanda resultante no produce el asentamiento deseado, entonces se modifica la cantidad de agua y se recalcula la tanda de prueba.

Cuadro A2.1

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para el Tamaño Nominal Máximo de agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160	—
Concreto con aire incorporado								
1" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" - 7"	216	205	197	184	174	166	154	—
Aire Atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Cantidad de agua requerida para el diseño de mezcla. Fuente ACI 211

- 5) Según la tabla siguiente y los datos anteriores $f'_{cr} = 300 \text{ kg/cm}^2$.

f'_{cr} kg/cm ²	RELACIÓN AGUA / CEMENTO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Tabla: f'_{cr} aproximado para cada relación a/c especificada. Fuente ACI 211.

- 6) Se calcula la cantidad de cemento por 1m³ de concreto. Para ello se utiliza la relación A/C utilizada.
 $\text{Cemento} = \text{Agua} / (\text{A/C}) = 193/0.55 = 350.91 \text{ kg}$. Por 1m³ de concreto
- 7) Se calcula el volumen total de agregados en la mezcla de concreto.
 $\text{Vol. Total de Agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. aire})$
 $= 1 - (0.193 + 350.91/3020 + 0.015)$

$$= 0.6758 \text{ m}^3$$

- 8) Se calcula el peso seco por 1m^3 de concreto del agregado grueso y fino.
 Se resuelve el siguiente sistema de ecuaciones:

$$(1) \quad \text{Vol. Total de Agregados} = \text{Peso Seco de Arena} / \text{P.E. de Arena} + \text{Peso Seco de Piedra} / \text{P.E. de Piedra}$$

$$(2) \quad \% \text{ de Arena} = \text{Peso Seco de Arena} / (\text{Peso Seco de Arena} + \text{Peso Seco de Piedra})$$

$$\text{Arena} = 905.301 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 905.301 \text{ kg.}$$

- 9) Se calcula el volumen absoluto del agregado grueso y fino.

$$\text{Vol.Abs.Arena} = \text{Peso Seco} / \text{P.E.} = 905.301 / 2651.1 = 0.3415$$

$$\text{Vol.Abs.Piedra} = \text{Peso Seco} / \text{P.E.} = 905.301 / 2708.1 = 0.3343$$

- 10) Se corrige el peso del agregado grueso y fino con el contenido de humedad que poseen.

$$\text{Peso Húmedo Arena} = \text{Peso Seco} \times (1 + \text{C.H. Arena} / 100)$$

$$= 905.301 \times (1 + 1.11 / 100)$$

$$= 915.349 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso Húmedo Piedra} = \text{Peso Seco} \times (1 + \text{C.H. Piedra} / 100)$$

$$= 905.301 \times (1 + 0.50 / 100)$$

$$= 909.827 \text{ kg.}$$

- 11) Se corrige la cantidad de agua debido a la humedad que aporta o quita el agregado.

$$\text{Agua (ARENA)} = \text{Peso Seco} \times (\text{C.H. Arena} - \% \text{ Abs.Arena}) / 100$$

$$= 915.349 \times (1.11 - 0.86) / 100$$

$$= 2.288 \text{ l}$$

$$\text{Agua (PIEDRA)} = \text{Peso Seco} \times (\text{C.H. Piedra} - \% \text{ Abs.Piedra}) / 100$$

$$= 915.349 \times (0.50 - 0.91) / 100$$

$$= - 3.730 \text{ l}$$

$$\text{Corrección de Agua} = \text{Agua (ARENA)} + \text{Agua (PIEDRA)}$$

$$= 2.288 + (-3.730)$$

$$= - 1.442 \text{ l}$$

$$\text{Agua Corregida} = \text{Agua Inicial} - \text{Corrección de Agua}$$

$$= 193 - (- 1.442) \text{ l}$$

$$= 194.44 \text{ l de agua por } 1\text{m}^3 \text{ de concreto.}$$

12) Finalmente con todos los datos corregidos se obtiene, en forma proporcional, la tanda de 54 kg. que se va a usar en la mezcladora.

DISEÑO DE MEZCLA	Material	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO		
		Peso Seco (kg)	Peso Especifico (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Diseño Unitario (kg)	Peso Húmedo (kg)	Diseño Unitario (kg)	Tanda de 54 kg (kg)
(Prueba)	Cemento	350.91	3020.0	0.116	1.00	350.91	1.00	7.99
	Agua	193.00	1000.0	0.193	0.55	194.45	0.55	4.43
a/c: 0.55	Arena	905.30	2651.0	0.341	2.58	915.35	2.61	20.85
	Piedra	905.31	2708.0	0.334	2.58	909.84	2.59	20.73
Agua(l): 200	Aire			0.015				
	TOTAL	2354.52				2370.55		54.00

2.4.- DOSIFICACIONES DE PRUEBA DE LOS CONCRETOS PATRONES

2.4.1.- DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN CON CEMENTO INKA

2.4.1.A - RELACIÓN A/C = 0.55.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO				DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)
(Prueba)	Cemento	350.91	0.116	(Prueba)	Cemento	387.27	0.128
	Agua	193.00	0.193		Agua	213.00	0.213
a/c: 0.55	Arena	905.30	0.341	a/c: 0.55	Arena	862.38	0.325
	Piedra	905.31	0.334		Piedra	862.39	0.318
Agua(l): 193	Aire		0.015	Agua(l): 213	Aire		0.015
	TOTAL	2354.52			TOTAL	2325.04	

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)
(Prueba)	Cemento	432.73	0.143
	Agua	238.00	0.238
a/c: 0.55	Arena	808.73	0.305
	Piedra	808.74	0.299
Agua(l): 238	Aire		0.015
	TOTAL	2288.19	

2.4.1.B - RELACIÓN A/C = 0.60.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO				DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)
(Prueba)	Cemento	358.33	0.119	(Prueba)	Cemento	391.67	0.130
	Agua	215.00	0.215		Agua	235.00	0.235
a/c: 0.60	Arena	872.54	0.329	a/c: 0.60	Arena	830.96	0.313
	Piedra	872.55	0.322		Piedra	830.97	0.307
Agua(l): 215	Aire		0.015	Agua(l): 235	Aire		0.015
	TOTAL	2318.42			TOTAL	2288.60	

2.4.1.C - RELACIÓN A/C = 0.45.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO				DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)
(Prueba)	Cemento	522.22	0.173	(Prueba)	Cemento	566.67	0.188
	Agua	235.00	0.235		Agua	255.00	0.255
a/c: 0.45	Arena	773.05	0.292	a/c: 0.45	Arena	726.54	0.274
	Piedra	773.06	0.285		Piedra	726.55	0.268
Agua(l): 235	Aire		0.015	Agua(l): 255	Aire		0.015
	TOTAL	2303.33			TOTAL	2274.76	

2.5.- DOSIFICACIONES DEFINITIVAS DE LOS CONCRETOS PATRONES

2.5.1- DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN CON CEMENTO INKA TIPO Ico

2.5.1.A - RELACIÓN A/C = 0.60.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	375.00	0.124	1.00
	Agua	225.00	0.225	0.60
a/c: 0.60	Arena	851.75	0.321	2.27
	Piedra	851.76	0.315	2.27
Agua(l): 225	Aire		0.015	
	TOTAL	2303.51		

2.5.1.B - RELACIÓN A/C = 0.55.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	418.18	0.138	1.00
	Agua	230.00	0.230	0.55
a/c: 0.55	Arena	825.90	0.312	1.97
	Piedra	825.91	0.305	1.97
Agua(l): 230	Aire		0.015	
	TOTAL	2299.99		

2.5.1.C - RELACIÓN A/C = 0.45.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	544.44	0.180	1.00
	Agua	245.00	0.245	0.45
a/c: 0.45	Arena	749.80	0.283	1.38
	Piedra	749.81	0.277	1.38
Agua(l): 245	Aire		0.015	
	TOTAL	2289.05		

2.5.2- DISEÑOS DE MEZCLA PATRÓN CON CEMENTO SOL TIPO I

2.5.2.A - RELACIÓN A/C = 0.60.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	375.00	0.119	1.00
	Agua	225.00	0.225	0.60
a/c: 0.60	Arena	858.11	0.324	2.29
	Piedra	858.12	0.317	2.29
Agua(l): 225	Aire		0.015	
	TOTAL	2316.22		

2.5.2.B - RELACIÓN A/C = 0.55.- (50% Piedra / 50% Arena)

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	418.18	0.133	1.00
	Agua	230.00	0.230	0.55
a/c: 0.55	Arena	832.99	0.314	1.99
	Piedra	833.00	0.308	1.99
Agua(l): 230	Aire		0.015	
	TOTAL	2314.16		

2.5.2.C - RELACIÓN A/C = 0.45.- (50% Piedra / 50% Arena)

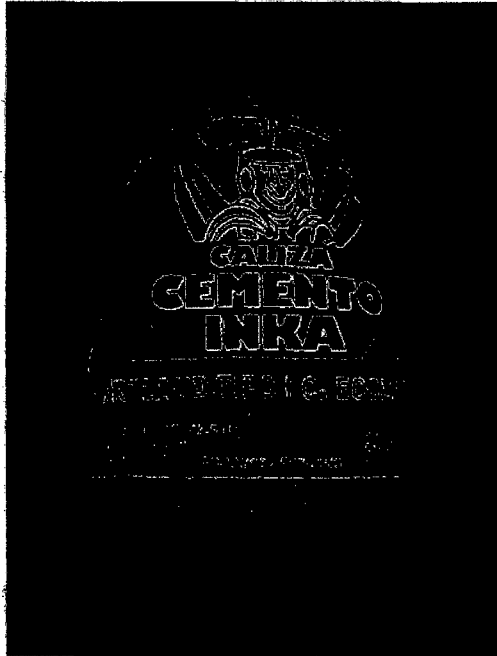
		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
(Definitivo)	Cemento	544.44	0.173	1.00
	Agua	245.00	0.245	0.45
a/c: 0.45	Arena	759.03	0.286	1.39
	Piedra	759.03	0.280	1.39
Agua(l): 245	Aire		0.015	
	TOTAL	2307.50		

ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS

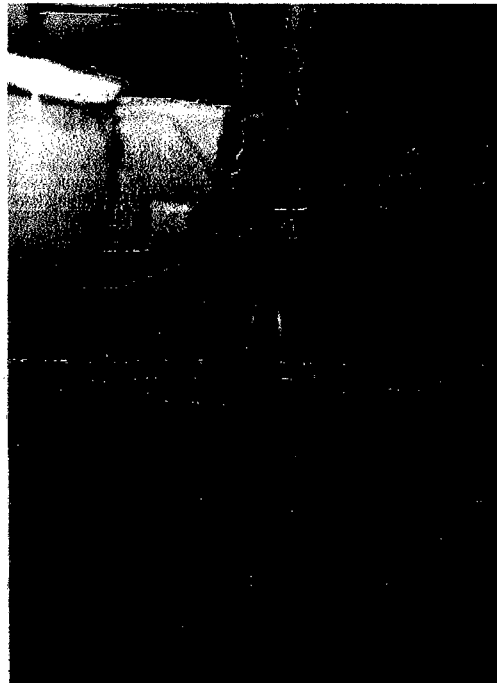
(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

3.1 CEMENTO CON MICROFILLER CALIZO



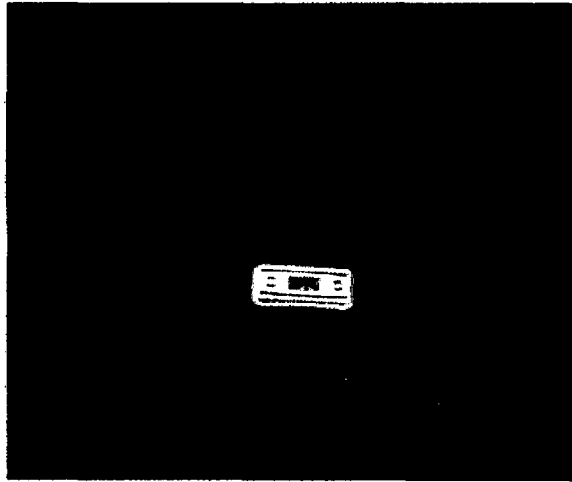
Este cemento portland
adicionado tiene en su
composición 10% de
microfiller calizo.

3.2 ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO



Se buscó mezclas de
concreto plásticas de
slump entre 3" - 4".

3.3 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO



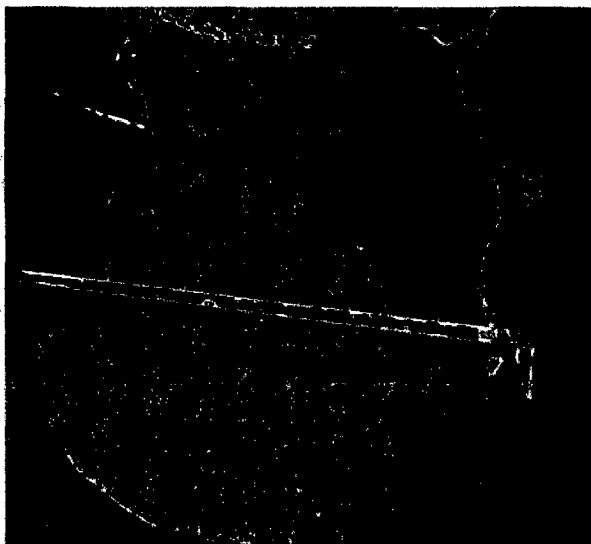
La temperatura del concreto se encontró dentro de sus parámetros normales

3.4 ENSAYO DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO



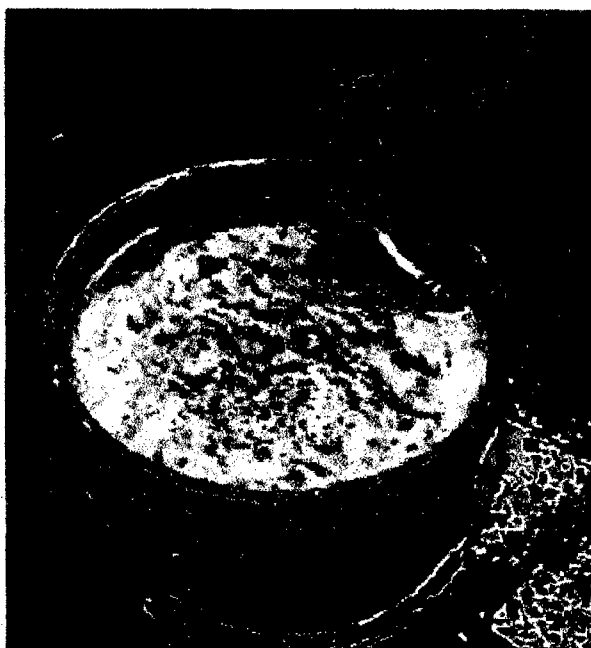
Se muestra el ensayo realizado en el balde de $1/2 \text{ pie}^3$

3.5 ENSAYO DE FLUIDEZ DEL CONCRETO



Se observa la lectura de diámetro extendido realizado en el ensayo.

3.6 MEDICIÓN DEL VALOR DEL PH DEL CONCRETO



Se verificó el PH de la mezcla de concreto preparado con cemento Inka.

3.7 ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO



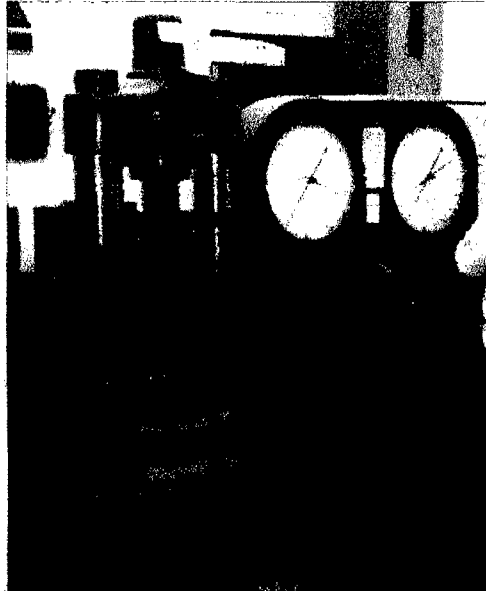
Se observa la obtención de la cantidad de agua que exuda en la superficie en un determinado tiempo.

3.8 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO



Se observa el ensayo la penetración de la aguja metálica a la muestra de mortero

3.9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO



Se observa el ensayo realizado a una probeta de concreto de 15cmx30cm.

3.10 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO



Se observa las dos cargas a los tercios de luz de la viga en el ensayo realizado.

ANEXO 4

ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

4.1 ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

TIPO DE CEMENTO	Relación A/C	Peso balde (kg)	Peso muestra + balde (kg)	Peso muestra (kg)	Volumen balde (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
INKA TIPO ICo	0.45	11.80	44.26	32.46	0.014158	2292.7
	0.55	11.80	44.49	32.69	0.014158	2308.6
	0.60	11.80	44.59	32.79	0.014158	2315.7
SOL TIPO I	0.45	11.80	44.62	32.82	0.014158	2317.8
	0.55	11.80	44.75	32.95	0.014158	2327.6
	0.60	11.80	44.83	33.03	0.014158	2332.9

4.2 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO (Método Gravimétrico)

TIPO DE CEMENTO	Relación A/C	Peso Unitario Real (kg/m ³)	Peso Unitario Teórico (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)
INKA TIPO ICo	0.45	2292.7	2289.0	1.06
	0.55	2308.6	2300.0	0.93
	0.60	2315.7	2303.5	0.79
SOL TIPO I	0.45	2317.8	2307.5	1.19
	0.55	2327.6	2314.2	1.01
	0.60	2332.9	2316.2	0.87

4.3 ENSAYO DE FLUIDEZ DEL CONCRETO FRESCO

		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D prom	% FLUIDEZ
INKA TIPO ICo	0,45	46,5	44,5	45	47	46	45	45	45,57	82,29
	0,55	48	48	46,5	49	49	47,5	49,5	48,21	92,86
	0,60	46,5	46,5	48	48	47,5	48	47	47,36	89,43
SOL TIPO I	0,45	45	48	47,5	47	48	46	48	47,07	88,29
	0,55	47	48	47	48	49	46,5	47,5	47,57	90,29
	0,60	46,5	48,5	48	46,5	48,5	48,5	47	47,64	90,57

4.4 ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO

ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (INKA TIPO ICo)						
Diámetro del Balde (cm):		25.35				
Área Expuesta (A) (cm ²):		504.7				
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Vol.de Exud Acum.(cm ³) (a)	Vol. de Exud / Área Expuest (a) / (A)	Peso muestra+balde (kg)	40.75
					Peso balde (kg)	11.6
					Peso muestra (kg)	29.15
14:30	00:00	0	0.0	0.000		
14:40	00:10	10	2.7	0.005		
14:50	00:20	20	6.6	0.013		
15:00	00:30	30	12.2	0.024		
15:10	00:40	40	19.4	0.038	Peso TOTAL (kg)	54 29.15
15:40	01:10	70	30.9	0.061	Peso Agua (kg)	5.77 3.11 (B)
16:10	01:40	100	35.4	0.070	Agua Exudada (kg)	0.0354 (C)
16:40	02:10	130	35.4	0.070		
					EXUDACIÓN (%)	1.14 (C)/(B)x100
ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (SOL TIPO I)						
Diámetro del Balde (cm):		25.35				
Área Expuesta (A) (cm ²):		504.7				
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Vol.de Exud Acum.(cm ³) (a)	Vol. de Exud / Área Expuest (a) / (A)	Peso muestra+balde (kg)	41.55
					Peso balde (kg)	13.9
					Peso muestra (kg)	27.65
15:15	00:00	0	0.0	0.000		
15:25	00:10	10	3.2	0.006		
15:35	00:20	20	7.3	0.014		
15:45	00:30	30	13.2	0.026		
15:55	00:40	40	22.4	0.044	Peso TOTAL (kg)	54 27.65
16:25	01:10	70	36.7	0.073	Peso Agua (kg)	5.73 2.93 (B)
16:55	01:40	100	45.4	0.090	Agua Exudada (kg)	0.0454 (C)
17:25	02:10	130	45.4	0.090		
					EXUDACIÓN (%)	1.55 (C)/(B)x100

ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.55 (INKA TIPO ICo)						
Diámetro del Balde (cm):		25.35				
Área Expuesta (A) (cm ²):		504.7				
Tiempo Real	Tiempo Absoluto	Tiempo Absoluto	Vol. de Exud. Acum.(cm ³)	Vol. de Exud. / Área Expuest	Peso muestra+balde (kg)	39.85
(hor.min)	(hor.min)	(min)	(a)	(a) / (A)	Peso balde (kg)	11.6
					Peso muestra (kg)	28.25
11:45	00:00	0	0.0	0.000		
11:55	00:10	10	5.1	0.010		
12:05	00:20	20	11.4	0.023		
12:15	00:30	30	17.8	0.035		
12:25	00:40	40	26.1	0.052		
12:55	01:10	70	37.0	0.073		
13:25	01:40	100	40.2	0.080		
13:55	02:10	130	40.2	0.080		
					EXUDACIÓN (%)	1.42 (C)/(B)x100
ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.55 (SOL TIPO I)						
Diámetro del Balde (cm):		25.35				
Área Expuesta (A) (cm ²):		504.7				
Tiempo Real	Tiempo Absoluto	Tiempo Absoluto	Vol. de Exud. Acum.(cm ³)	Vol. de Exud. / Área Expuest	Peso muestra+balde (kg)	40.75
(hor.min)	(hor.min)	(min)	(a)	(a) / (A)	Peso balde (kg)	13.9
					Peso muestra (kg)	26.85
12:30	00:00	0	0.0	0.000		
12:40	00:10	10	4.3	0.009		
12:50	00:20	20	14.1	0.028		
13:00	00:30	30	25.3	0.050		
13:10	00:40	40	39.8	0.079		
13:40	01:10	70	47.9	0.095		
14:10	01:40	100	50.9	0.101		
17:25	02:10	130	50.9	0.101		
					EXUDACIÓN (%)	1.91 (C)/(B)x100

4.5 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO FRESCO

TIEMPO DE FRAGUADO:							
ASTM C403 - NTP 339.082							
Cemento: INKA Tipo ICo - a/c:0.60							
Tiempo transcurrido	Tiempo transcurrido	Diámetro aguja	Área aguja	Fuerza Aplicada	Resistencia Penetración	log(t)	log (RP)
(hor:min)	(min)	pulg	pulg ²	lb	(RP) lb/pulg ²		
00:00							
03:30	210	1 1/8"	0.9940	165	166.00	2.322219	2.220098
04:00	240	13/16"	0.5185	155	298.94	2.380211	2.475583
04:30	270	9/16"	0.2485	200	804.83	2.431364	2.905704
05:00	300	5/16"	0.0767	150	1955.67	2.477121	3.291296
05:20	320	4/16"	0.0491	160	3258.66	2.505150	3.513038
05:40	340	3/16"	0.0276	140	5072.46	2.531479	3.705219
luego:							
haciendo análisis de regresión lineal entre los logaritmos de Resistencia a la Penetración y Tiempo transcurrido tenemos							
log(RP)=7.1437*log(t)-14.691							
y=m*x+b				m = 7.3846		7.3846	
RP= Resistencia a la Penetración				b = -15.0092			
t= tiempo transcurrido				R = coeficiente de correlación =		0.9949	
Fragua inicial: RP=500							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(500)+13.2740	=	2.3980		
	m		6.8570				
t=	250.03 minutos						
	4:10:02 (hh:mm:ss)						
Fragua final: RP=4000							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(4000)+13.2740	=	2.5203		
	m		6.8570				
t=	331.34 minutos						
	5:31:21 (hh:mm:ss)						

TIEMPO DE FRAGUADO:							
ASTM C403 - NTP 339.082							
Cemento: SOL Tipo I - a/c:0.60							
Tiempo transcurrido	Tiempo transcurrido	Diámetro aguja	Área aguja	Fuerza Aplicada	Resistencia Penetración	log(t)	log (RP)
(hor:min)	(min)	pulg	pulg ²	lb	(RP) lb/pulg ²		
00:00							
03:00	180	1 1/8"	0.9940	35	35.21	2.255273	1.546682
03:30	210	1 1/8"	0.9940	145	145.88	2.322219	2.163982
04:00	240	13/16"	0.5185	160	308.58	2.380211	2.489371
04:30	270	9/16"	0.2485	180	643.86	2.431364	2.808794
05:00	300	5/16"	0.0767	130	1694.92	2.477121	3.229148
05:20	320	4/16"	0.0491	160	3258.66	2.505150	3.513038
05:40	340	3/16"	0.0276	135	4891.30	2.531479	3.689425
luego:							
haciendo análisis de regresión lineal entre los logaritmos de Resistencia a la Penetración y Tiempo transcurrido tenemos							
log(RP)=7.1437*log(t)-14.691							
y=m*x+b				m = 7.5981		7.5981	
RP= Resistencia a la Penetración				b = -15.5699			
t= tiempo transcurrido				R = coeficiente de correlación =		0.9970	
Fragua inicial: RP=500							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(500)+12.7654	=	2.4044		
	m		6.7927				
t=	253.75 minutos						
	4:13:45 (hh:mm:ss)						
Fragua final: RP=4000							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(4000)+12.7654	=	2.5233		
	m		6.7927				
t=	333.62 minutos						
	6:33:37 (hh:mm:ss)						

TIEMPO DE FRAGUADO:							
ASTM C403 - NTP 339.082							
Cemento: INKA Tipo IC_o - a/c:0.66							
Tiempo	Tiempo	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia		
transcurrido	transcurrido	aguja	aguja	Aplicada	Penetración	log(t)	log (RP)
(hor:min)	(min)	pulg	pulg²	lb	(RP) lb/pulg²		
00:00							
03:00	180	1 1/8"	0.9940	75	75.45	2.255273	1.877675
02:30	210	13/16"	0.5185	105	202.51	2.322219	2.306441
04:00	240	9/16"	0.2485	105	422.54	2.380211	2.625863
04:30	270	5/16"	0.0767	95	1238.59	2.431364	3.092928
05:00	300	5/16"	0.0767	185	2411.99	2.477121	3.382376
05:20	320	4/16"	0.0491	175	3564.15	2.505150	3.551957
05:40	340	3/16"	0.0276	130	4710.14	2.531479	3.673034
luego:							
haciendo análisis de regresión lineal entre los logaritmos de Resistencia a la Penetración y Tiempo transcurrido tenemos							
log(RP)=7.1437*log(t)-14.691							
y=m*x+b				m = 6.7031		6.7031	
RP= Resistencia a la Penetración				b = -13.2558			
t= tiempo transcurrido				R = coeficiente de correlación =		0.9980	
Fragua inicial: RP=500							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(500)+13.2740	=	2.3802		
	m		6.8570				
t=	240.00 minutos						
	4:00:00 (hh:mm:ss)						
Fragua final: RP=4000							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(4000)+13.2740	=	2.5149		
	m		6.8570				
t=	327.29 minutos						
	5:27:17 (hh:mm:ss)						

TIEMPO DE FRAGUADO:							
ASTM C403 - NTP 339.082							
Cemento: SOL Tipo I - a/c:0.66							
Tiempo	Tiempo	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia		
transcurrido	transcurrido	aguja	aguja	Aplicada	Penetración	log(t)	log (RP)
(hor:min)	(min)	pulg	pulg2	lb	(RP) lb/pulg2		
00:00							
03:00	180	1 1/8"	0.9940	120	120.72	2.255273	2.081795
03:30	210	13/16"	0.5185	95	183.22	2.322219	2.262975
04:00	240	9/16"	0.2485	115	462.78	2.380211	2.665371
04:30	270	5/16"	0.0767	95	1238.59	2.431364	3.092928
05:00	300	5/16"	0.0767	170	2216.43	2.477121	3.345654
05:20	320	4/16"	0.0491	160	3258.66	2.505150	3.513038
05:40	340	3/16"	0.0276	135	4891.30	2.531479	3.689425
luego:							
haciendo análisis de regresión lineal entre los logaritmos de Resistencia a la Penetración y Tiempo transcurrido tenemos							
log(RP)=7.1437*log(t)-14.691							
y=m*x+b				m = 6.1506		6.1506	
RP= Resistencia a la Penetración				b = -11.9017			
t= tiempo transcurrido			R = coeficiente de correlación =		0.9927		
Fragua inicial: RP=500							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(500)+12.7654	=	2.3739		
	m		6.7927				
t=	236.52 minutos						
	3:58:31 (hh:mm:ss)						
Fragua final: RP=4000							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(4000)+12.7654	=	2.5207		
	m		6.7927				
t=	331.66 minutos						
	5:31:39 (hh:mm:ss)						

TIEMPO DE FRAGUADO:							
ASTM C403 - NTP 339.082							
Cemento: INKA Tipo IC ₀ - a/c:0.45							
Tiempo transcurrido	Tiempo transcurrido	Diámetro aguja	Área aguja	Fuerza Aplicada	Resistencia Penetración	log(t)	log (RP)
(hor:min)	(min)	pulg	pulg ²	lb	(RP) lb/pulg ²		
00:00							
02:30	150	1 1/8"	0.9940	55	55.33	2.176091	1.742976
03:00	180	1 1/8"	0.9940	145	145.88	2.255273	2.163982
03:30	210	13/16"	0.5185	175	337.51	2.322219	2.528289
04:00	240	9/16"	0.2485	240	965.79	2.380211	2.984885
04:20	260	5/16"	0.0767	165	2151.24	2.414973	3.332689
04:40	280	4/16"	0.0491	180	3665.99	2.447158	3.564191
05:00	300	3/16"	0.0276	155	5615.94	2.477121	3.749423
luego:							
haciendo análisis de regresión lineal entre los logaritmos de Resistencia a la Penetración y Tiempo transcurrido tenemos							
log(RP)=7.1437*log(t)-14.691							
y=m*x+b				m = 6.8682		6.8682	
RP= Resistencia a la Penetración				b = -13.2963			
t= tiempo transcurrido				R = coeficiente de correlación =		0.9947	
Fragua inicial: RP=500							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(500)+13.2740	=	2.3289		
	m		6.8570				
t=	213.25 minutos						
	3:33:16 (hh:mm:ss)						
Fragua final: RP=4000							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(4000)+13.2740	=	2.4604		
	m		6.8570				
t=	288.65 minutos						
	4:48:39 (hh:mm:ss)						

TIEMPO DE FRAGUADO:							
ASTM C403 - NTP 339.082							
Cemento: SOL Tipo I - a/c:0.46							
Tiempo	Tiempo	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia		
transcurrido	transcurrido	aguja	aguja	Aplicada	Penetración	log(t)	log (RP)
(hor:min)	(min)	pulg	pulg2	lb	(RP) lb/pulg2		
00:00							
02:30	150	1 1/8"	0.9940	105	105.63	2.176091	2.023803
03:00	180	13/16"	0.5185	190	366.44	2.255273	2.564005
03:30	210	9/16"	0.2485	210	845.07	2.322219	2.926893
03:50	230	5/16"	0.0767	175	2281.62	2.361728	3.358243
04:10	250	4/16"	0.0491	185	3767.82	2.397940	3.576090
04:30	270	3/16"	0.0276	150	5434.78	2.431364	3.735182
luego:							
haciendo análisis de regresión lineal entre los logaritmos de Resistencia a la Penetración y Tiempo transcurrido tenemos							
log(RP)=7.1437*log(t)-14.691							
y=m*x+b				m =	6.8747	6.8747	
RP= Resistencia a la Penetración				b =	-12.9469		
t= tiempo transcurrido				R = coeficiente de correlación =	0.9963		
Fragua inicial: RP=500							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(500)+12.7654	=	2.2759		
	m		6.7927				
t=	188.74 minutos						
	3:08:44 (hh:mm:ss)						
Fragua final: RP=4000							
log(t)=	log(RP) - b	=	log(4000)+12.7654	=	2.4072		
	m		6.7927				
t=	255.40 minutos						
	4:15:24 (hh:mm:ss)						

4.6 TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO

Normas ensayadas: NTP 339.184 - ASTM C1064									
TIPO DE CEMENTO	RELACIÓN A/C	TEMPERATURA (°C)		VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO EN EL TIEMPO					
		LABORATORIO	AGUA	1min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min
INKA TIPO IC ₀	0.45	19.00	21.20	20.20	20.50	20.60	20.80	20.80	20.80
	0.55	18.80	21.60	20.00	20.20	20.30	20.50	20.50	20.50
	0.60	19.90	21.40	20.60	20.80	21.20	21.20	21.20	21.20
SOL TIPO I	0.45	19.00	21.20	20.50	20.80	21.00	21.20	21.20	21.20
	0.55	18.80	21.60	20.50	20.70	20.90	20.90	20.90	20.90
	0.60	19.90	21.40	21.50	21.70	22.10	22.10	22.10	22.10

ANEXO 5

ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO					
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (INKA TIPO ICo)					
Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)
1	41000	14.95	175.54	233.6	229.5
	40600	14.95	175.54	231.3	
	39000	14.90	174.37	223.7	
3	48500	14.70	169.72	285.8	280.1
	47700	14.90	174.37	273.6	
	49000	14.90	174.37	281.0	
7	56600	14.80	172.03	329.0	319.5
	55900	14.95	175.54	318.4	
	55700	15.10	179.08	311.0	
14	59400	15.00	176.72	336.1	340.1
	60600	14.75	170.87	354.6	
	59000	15.10	179.08	329.5	
28	66200	15.15	180.27	367.2	381.2
	64850	14.90	174.37	371.9	
	64600	14.70	169.72	380.6	
	65500	14.75	170.87	383.3	
	68600	15.00	176.72	388.2	
	68600	14.85	173.20	396.1	
Edad	1d	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar	5.2	6.2	9.0	13.0	10.5
Coef. de Variación (%)	2.3	2.2	2.8	3.8	2.8
Máx.coef.variac. (%)	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (SOL TIPO I)						
Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)	
1	37400	15.00	176.72	211.6	215.1	
	38000	14.75	170.87	222.4		
	37600	15.05	177.90	211.4		
3	46000	14.80	172.03	267.4	273.0	
	47900	14.85	173.20	276.6		
	48600	15.00	176.72	275.0		
7	59900	14.95	175.54	341.2	336.3	
	59600	14.95	175.54	339.5		
	58400	15.05	177.90	328.3		
14	68900	15.20	181.46	379.7	373.2	
	65300	14.95	175.54	372.0		
	63300	14.80	172.03	368.0		
28	73000	14.90	174.37	418.7	407.4	
	70600	15.05	177.90	396.9		
	68700	14.75	170.87	402.1		
	72100	14.90	174.37	413.5		
	69900	14.95	175.54	398.2		
	74800	15.15	180.27	414.9		
Edad		1d	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar		6.3	4.9	7.0	6.0	9.4
Coef. de Variación (%)		2.9	1.8	2.1	1.6	2.3
Máx. coef. variac. (%)		7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.55 (INKA TIPO IC₀)

Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)	
1	26100	14.90	174.37	149.7	145.0	
	25400	15.05	177.90	142.8		
	24700	14.85	173.20	142.6		
3	40100	15.10	179.08	223.9	234.7	
	39900	14.70	169.72	235.1		
	41900	14.75	170.87	245.2		
7	45200	14.90	174.37	259.2	264.9	
	48500	15.05	177.90	272.6		
	44900	14.75	170.87	262.8		
14	48400	14.80	172.03	281.3	290.9	
	51200	15.05	177.90	287.8		
	52200	14.80	172.03	303.4		
28	55600	15.00	176.72	314.6	323.5	
	57100	15.00	176.72	323.1		
	57700	14.80	172.03	335.4		
	54800	14.95	175.54	312.2		
	57300	14.90	174.37	328.6		
	56300	14.80	172.03	327.3		
Edad		1d	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar		4.0	10.6	6.9	11.4	8.8
Coef. de Variación (%)		2.8	4.5	2.6	3.9	2.7
Máx. coef. variac. (%)		7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO					
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.55 (SOL TIPO I)					
Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)
1	26900	14.85	173.20	155.3	151.6
	24900	14.80	172.03	144.7	
	27000	14.90	174.37	154.8	
3	44700	15.00	176.72	252.9	252.1
	42500	14.75	170.87	248.7	
	45000	15.00	176.72	254.6	
7	48600	14.95	175.54	276.9	281.2
	48100	14.85	173.20	277.7	
	51100	15.00	176.72	289.2	
14	54500	14.95	175.54	310.5	318.4
	55200	14.85	173.20	318.7	
	56100	14.80	172.03	326.1	
28	58800	14.80	172.03	341.8	348.0
	56800	14.75	170.87	332.4	
	60500	14.85	173.20	349.3	
	65100	15.20	181.46	358.8	
	60400	14.80	172.03	351.1	
	61000	14.80	172.03	354.6	
Edad	1d	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar	6.0	3.1	6.9	7.8	9.5
Coef. de Variación (%)	3.9	1.2	2.4	2.5	2.7
Máx.coef.variac. (%)	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.60 (INKA TIPO IC₀)

Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)
1	19100	14.80	172.03	111.0	109.8
	18600	14.85	173.20	107.4	
	19600	15.00	176.72	110.9	
3	37200	15.05	177.90	209.1	210.1
	36400	14.90	174.37	208.8	
	37300	14.95	175.54	212.5	
7	41050	14.80	172.03	238.6	239.8
	43100	14.85	173.20	248.8	
	42100	15.20	181.46	232.0	
14	45600	14.85	173.20	263.3	255.4
	44500	14.90	174.37	255.2	
	43500	14.95	175.54	247.8	
28	50100	15.00	176.72	283.5	291.8
	50900	15.05	177.90	286.1	
	53200	15.15	180.27	295.1	
	49900	15.00	176.72	282.4	
	53500	15.05	177.90	300.7	
	54600	15.15	180.27	302.9	

Edad	1d	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar	2.1	2.1	8.5	7.7	9.0
Coef. de Variación (%)	1.9	1.0	3.5	3.0	3.1
Máx.coef.variac. (%)	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.60 (SOL TIPO I)						
Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)	
1	18100	14.95	175.54	103.1	103.5	
	17900	15.05	177.90	100.6		
	18500	14.85	173.20	106.8		
3	37600	15.00	176.72	212.8	218.0	
	39300	14.90	174.37	225.4		
	37900	14.95	175.54	215.9		
7	43900	14.80	172.03	255.2	247.9	
	42100	14.85	173.20	243.1		
	42200	14.80	172.03	245.3		
14	54200	15.15	180.27	300.7	294.1	
	53300	15.15	180.27	295.7		
	51200	15.10	179.08	285.9		
28	55300	15.00	176.72	312.9	319.2	
	55800	15.00	176.72	315.8		
	56800	15.05	177.90	319.3		
	57000	15.15	180.27	316.2		
	58700	15.05	177.90	330.0		
	56700	15.00	176.72	320.9		
Edad		1d	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar		3.1	6.6	6.4	7.5	6.0
Coef. de Variación (%)		3.0	3.0	2.6	2.6	1.9
Máx. coef. variac. (%)		7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

5.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL CONCRETO ENDURECIDO

Probeta: 6" x 12"				$T = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D}$		
Edad: 28 días						
TIPO DE CEMENTO	MEZCLA	Diámetro (D)	Longitud (L)	Carga (P)	Resistencia (T)	Resistencia Promedio
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
INKA TIPO IC _o	0.45	15.0	30.2	22400	31.6	31.9
		15.0	30.4	22900	32.0	
		14.9	30.0	22600	32.2	
	0.55	14.9	30.1	19300	27.4	27.5
		14.9	30.4	19700	27.7	
		15.1	30.3	19800	27.6	
	0.60	15.0	30.1	17500	24.8	24.1
		15.0	30.4	17200	24.0	
		15.1	30.2	16900	23.6	
SOL TIPO I	0.45	14.9	30.2	21600	30.6	30.7
		15.0	30.5	21800	30.3	
		15.0	30.0	22100	31.3	
	0.55	15.1	30.2	21700	30.3	30.2
		15.0	30.4	21400	29.9	
		14.9	30.0	21300	30.3	
	0.60	15.1	30.3	21500	29.9	29.6
		15.0	30.5	21300	29.6	
		15.0	30.2	20900	29.4	

5.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Edad: 28 días						
$Mr = \frac{P \cdot x \cdot l}{b \cdot x \cdot h^2}$						
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO ENDURECIDO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (INKA TIPO ICo)						
Edad (días)	Luz libre promedio L(cm)	Ancho promedio b(cm)	Altura promedio h(cm)	Carga máxima de rotura P(kg)	Módulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Mr prom (kg/cm ²)
3	46.8	15.4	15.6	1550	19.36	20.67
	46.2	15.5	15.4	1750	21.99	
7	46.5	15.5	15.5	2000	24.97	26.54
	46.2	15.6	15.4	2250	28.10	
14	46.5	15.2	15.5	2300	29.29	30.36
	46.5	15.7	15.5	2550	31.44	
28	45.3	15.0	15.1	3550	47.00	45.30
	46.5	15.5	15.5	3500	43.59	
Edad		3d	7d	14d	28d	
Desv. Estándar		1.9	2.2	1.5	2.4	
Coef. de Variación (%)		9.0	8.3	5.0	5.3	
Máx.coef.variac.%		16	16	16	16	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (SOL TIPO I)

Edad (días)	Luz libre promedio L(cm)	Ancho promedio b(cm)	Altura promedio h(cm)	Carga máxima de rotura P(kg)	Módulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Mr prom (kg/cm ²)
3	45.9	15.2	15.3	1650	21.28	21.57
	46.5	15.5	15.5	1750	21.85	
7	46.5	15.4	15.5	2300	28.91	30.27
	46.8	15.5	15.6	2550	31.64	
14	45.9	15.6	15.3	2700	33.94	35.63
	46.2	15.4	15.4	2950	37.32	
28	45.6	15.1	15.2	4050	53.01	51.78
	46.5	15.7	15.5	4100	50.54	
Edad		3d	7d	14d	28d	
Desv. Estándar		0.4	1.9	2.4	1.7	
Coef. de Variación (%)		1.9	6.4	6.7	3.4	
Máx.coef.variac. %		16	16	16	16	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.55 (INKA TIPO ICo)						
Edad (días)	Luz libre promedio L(cm)	Ancho promedio b(cm)	Altura promedio h(cm)	Carga máxima de rotura P(kg)	Módulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Mr prom (kg/cm ²)
3	46.5	15.5	15.5	1500	18.73	19.62
	46.5	15.1	15.5	1600	20.51	
7	46.5	15.5	15.3	2100	26.91	26.34
	46.5	15.6	15.4	2050	25.77	
14	46.5	15.6	15.3	2550	32.47	33.92
	46.5	15.4	15.6	2850	35.36	
28	46.5	15.5	15.5	3450	43.09	43.20
	47.0	15.5	15.7	3500	43.30	
Edad		3d	7d	14d	28d	
Desv. Estándar		1.3	0.8	2.0	0.1	
Coef. de Variación (%)		6.4	3.1	6.0	0.3	
Máx.coef.variac.%		16	16	16	16	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO						
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.55 (SOL TIPO I)						
Edad (días)	Luz libre promedio L(cm)	Ancho promedio b(cm)	Altura promedio h(cm)	Carga máxima de rotura P(kg)	Módulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Mr prom (kg/cm ²)
3	45.9	15.5	15.4	1350	16.86	17.98
	45.9	15.4	15.3	1500	19.10	
7	45.9	15.4	15.5	2100	26.05	24.81
	45.9	15.6	15.4	1900	23.57	
14	45.9	15.2	15.4	2650	33.74	32.57
	45.9	15.3	15.3	2450	31.40	
28	45.9	15.5	15.3	2900	36.80	38.95
	47.6	15.2	15.9	3300	41.09	
Edad		3d	7d	14d	28d	
Desv. Estándar		1.6	1.8	1.7	3.0	
Coef. de Variación (%)		8.8	7.1	5.1	7.8	
Máx.coef.variac. %		16	16	16	16	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.60 (INKA TIPO ICo)

Edad (días)	Luz libre promedio L(cm)	Ancho promedio b(cm)	Altura promedio h(cm)	Carga máxima de rotura P(kg)	Módulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Mr prom (kg/cm ²)
3	46.5	15.3	15.5	1650	20.87	19.99
	46.5	15.4	15.4	1500	19.10	
7	46.5	15.5	15.5	1950	24.35	25.46
	46.5	15.3	15.5	2100	26.57	
14	46.5	15.4	15.3	2200	28.38	30.30
	46.5	15.3	15.2	2450	32.23	
28	46.5	15.5	15.5	3100	38.71	38.90
	46.5	15.6	15.5	3150	39.08	
Edad		3d	7d	14d	28d	
Desv. Estándar		1.3	1.6	2.7	0.3	
Coef. de Variación (%)		6.3	6.2	9.0	0.7	
Máx.coef.variac. %		16	16	16	16	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.60 (SOL TIPO I)

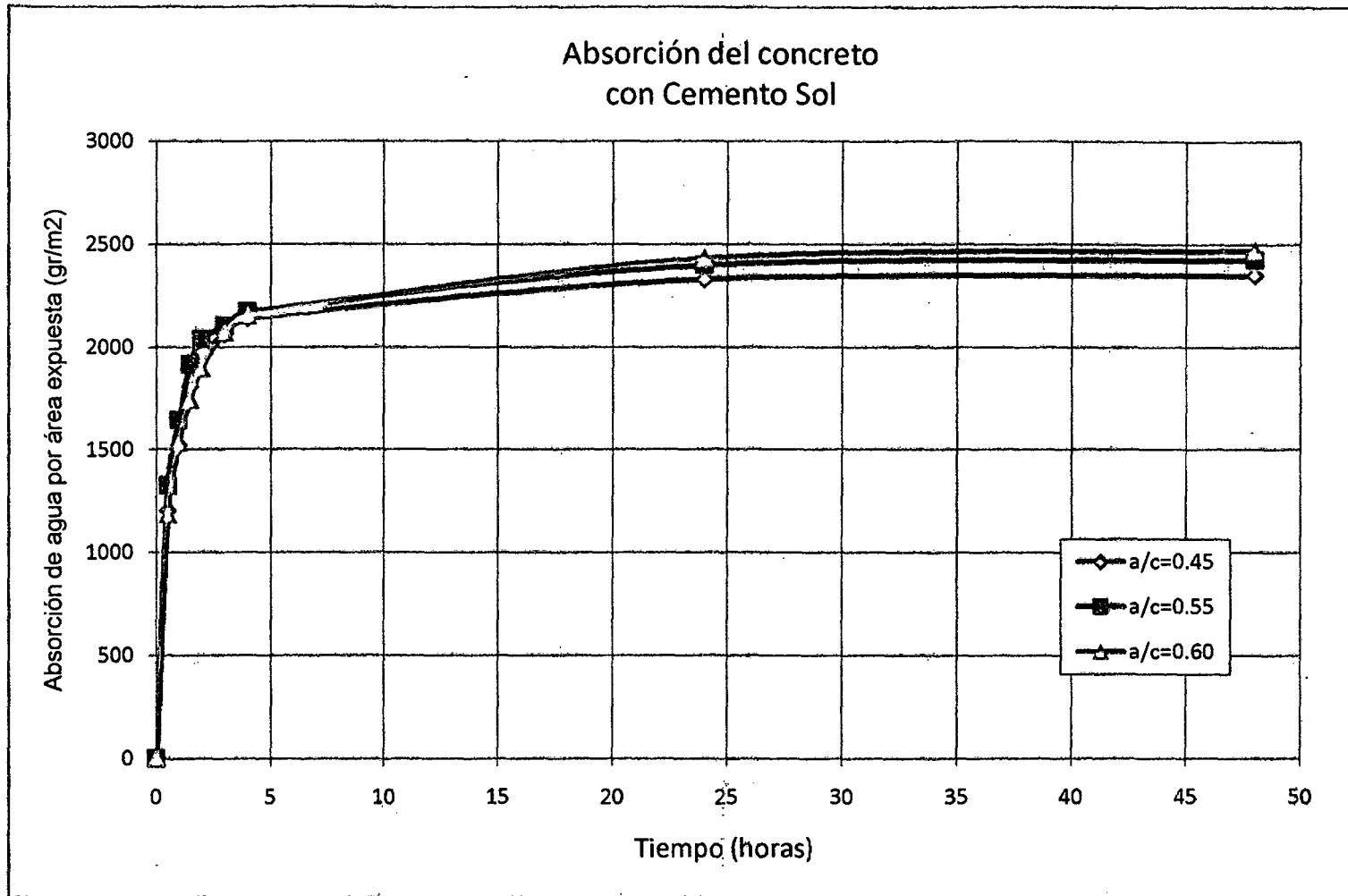
Edad (días)	Luz libre promedio L(cm)	Ancho promedio b(cm)	Altura promedio h(cm)	Carga máxima de rotura P(kg)	Módulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Mr prom (kg/cm ²)
3	46.8	15.2	15.4	1450	18.82	19.71
	46.8	15.4	15.6	1650	20.60	
7	46.8	15.4	15.3	2150	27.91	26.52
	46.8	15.5	15.5	2000	25.14	
14	46.8	15.3	15.5	2400	30.56	31.41
	46.8	15.6	15.4	2550	32.26	
28	46.8	15.7	15.6	2900	35.52	34.73
	46.5	15.4	15.5	2700	33.93	

Edad	3d	7d	14d	28d
Desv. Estándar	1.3	2.0	1.2	1.1
Coef. de Variación (%)	6.4	7.4	3.8	3.2
Máx.coef.variac. %	16	16	16	16

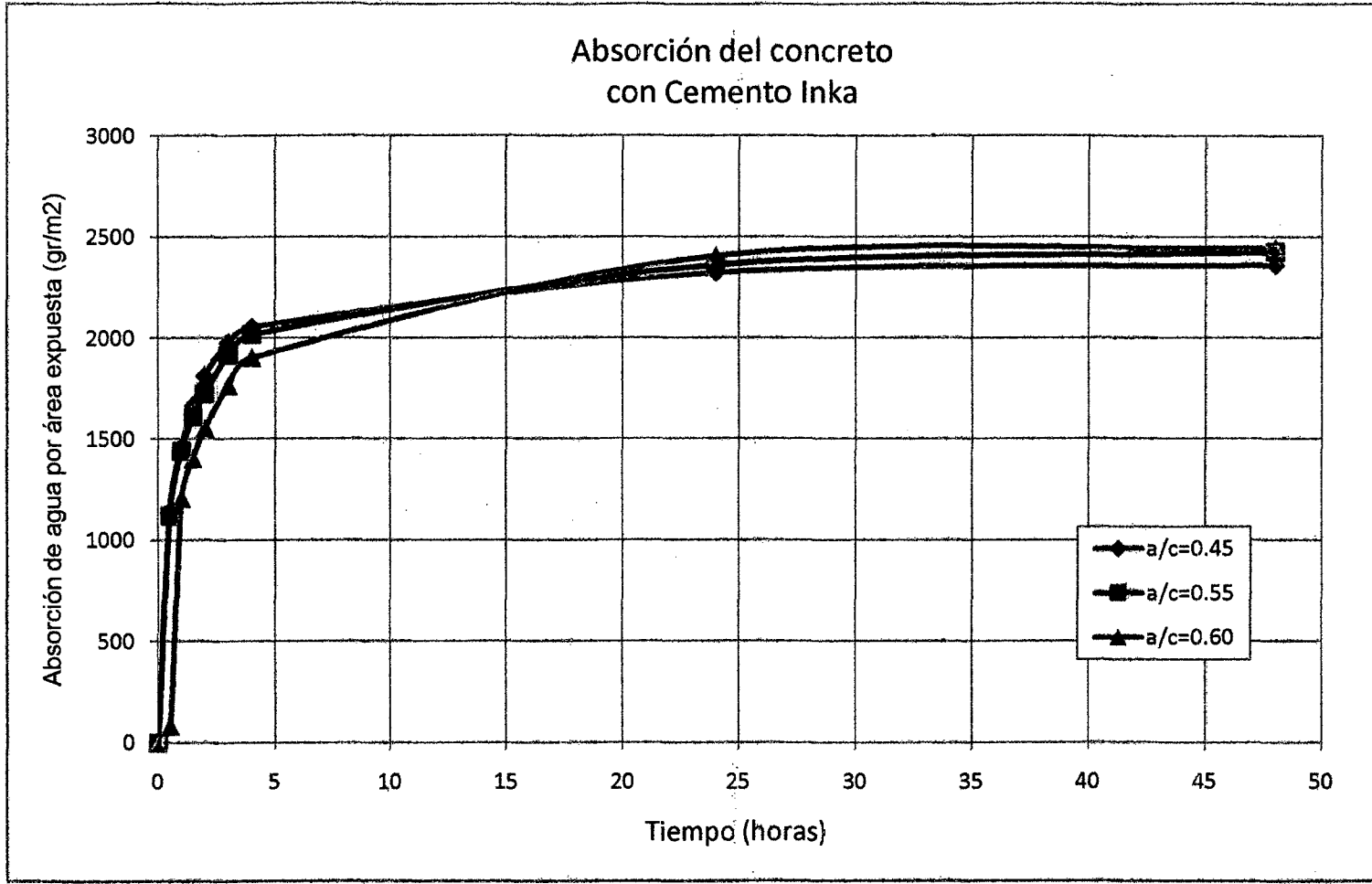
ANEXO 6
ANÁLISIS DE COSTOS

5.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO

MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0,45				MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0,55			
	Peso seco (gr):	3740.5			Peso seco (gr):	3760.0	
	Absorción del concreto:	4.93			Absorción del concreto:	5.07	
Tiempo (horas)	Peso Sólido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m ²)	Tiempo (horas)	Peso Sólido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m ²)
0.0	3740.5	0.0	0.0	0.0	3760.0	0.0	0.0
0.5	3835.0	94.5	1203.2	0.5	3864.0	104.0	1324.2
1.0	3860.0	119.5	1521.5	1.0	3889.0	129.0	1642.5
1.5	3882.5	142.0	1808.0	1.5	3910.5	150.5	1916.2
2.0	3894.5	154.0	1960.8	2.0	3920.0	160.0	2037.2
3.0	3902.5	162.0	2062.6	3.0	3925.0	165.0	2100.8
4.0	3908.5	168.0	2139.0	4.0	3930.5	170.5	2170.9
24.0	3923.5	183.0	2330.0	24.0	3948.5	188.5	2400.1
48.0	3925.0	184.5	2349.1	48.0	3950.5	190.5	2425.5
MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0,60							
	Peso seco (gr):	3766.0					
	Absorción del concreto:	5.15					
Tiempo (horas)	Peso Sólido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m ²)				
0.0	3766.0	0.0	0.0				
0.5	3859.0	93.0	1184.1				
1.0	3886.5	120.5	1534.3				
1.5	3903.0	137.0	1744.3				
2.0	3915.0	149.0	1897.1				
3.0	3928.5	162.5	2069.0				
4.0	3935.0	169.0	2151.8				
24.0	3957.0	191.0	2431.9				
48.0	3960.0	194.0	2470.1				



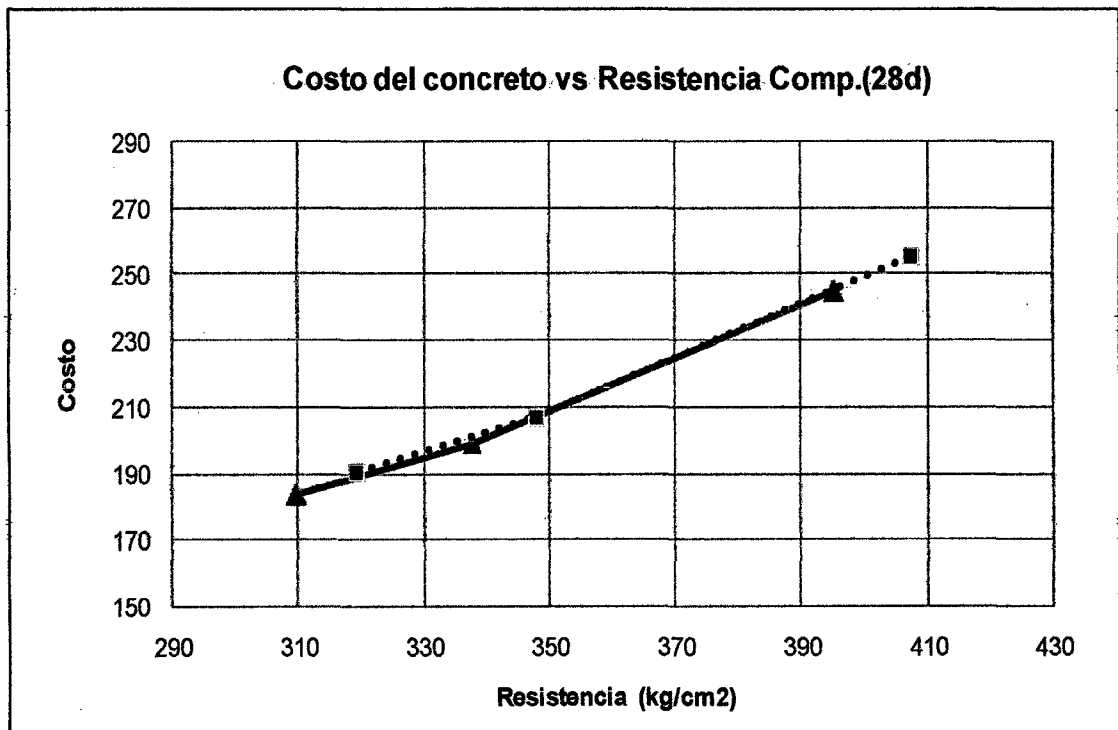
MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0,45				MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0,55			
	Peso seco (gr):	3770.0			Peso seco (gr):	3783.5	
	Absorción del concreto:	4.92			Absorción del concreto:	5.04	
Tiempo (horas)	Peso Sólido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m ²)	Tiempo (horas)	Peso Sólido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m ²)
0.0	3770.0	0.0	0.0	0.0	3783.5	0.0	0.0
0.5	3860.0	90.0	1145.9	0.5	3871.5	88.0	1120.4
1.0	3885.0	115.0	1464.2	1.0	3896.5	113.0	1438.8
1.5	3901.0	131.0	1667.8	1.5	3910.0	126.5	1610.6
2.0	3912.5	142.5	1814.4	2.0	3919.0	135.5	1725.2
3.0	3925.5	155.5	1979.9	3.0	3934.0	150.5	1916.2
4.0	3931.5	161.5	2056.3	4.0	3942.0	158.5	2018.1
24.0	3952.5	182.5	2323.7	24.0	3969.0	185.5	2361.9
48.0	3955.5	185.5	2361.9	48.0	3974.0	190.5	2425.5
MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0,60							
	Peso seco (gr):	3783.0					
	Absorción del concreto:	5.08					
Tiempo (horas)	Peso Sólido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m ²)				
0.0	3783.0	0.0	0.0				
0.5	3789.5	6.5	82.8				
1.0	3877.5	94.5	1203.2				
1.5	3893.0	110.0	1400.6				
2.0	3905.0	122.0	1553.3				
3.0	3921.5	138.5	1763.4				
4.0	3932.5	149.5	1903.5				
24.0	3972.0	189.0	2406.4				
48.0	3975.0	192.0	2444.6				



ANEXO 6
ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 ANÁLISIS DE LOS COSTOS

TIPO DE CEMENTO	TIPO DE CONCRETO	EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	COSTO DE CONCRETO (S./m ³)
INKA TIPO ICo	0.45	28	381.2	244.5
	0.55	28	323.5	198.8
	0.60	28	291.8	183.1
SOL TIPO I	0.45	28	407.4	255.2
	0.55	28	348.0	207.0
	0.60	28	319.2	190.5



Cuadro de datos detallado de los Costos

INKA TIPO ICo, A/C=0.45							
	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio Total S./m3
	Peso (kg) (A)	(B)	(A)/(B)	und			
Cemento	544.4	42.5	12.810	bol	16.50	211.4	
Agua	246.1	1000.0	0.246	m3	2.00	0.5	
Arena	758.1	2651.1	0.286	m3	48.00	13.7	
Piedra	753.6	2708.1	0.278	m3	68.00	18.9	244.5
R.Comp-28d (kg/cm2):		381.2					

INKA TIPO ICo, A/C=0.55							
	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio Total S./m3
	Peso (kg) (A)	(B)	(A)/(B)	und			
Cemento	418.2	42.5	9.840	bol	16.50	162.4	
Agua	231.2	1000.0	0.231	m3	2.00	0.5	
Arena	835.1	2651.1	0.315	m3	48.00	15.1	
Piedra	830.1	2708.1	0.307	m3	68.00	20.8	198.8
R.Comp-28d (kg/cm2):		323.5					

INKA TIPO ICo, A/C=0.60							
	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio Total S./m3
	Peso (kg) (A)	(B)	(A)/(B)	und			
Cemento	375.0	42.5	8.824	bol	16.50	145.6	
Agua	226.3	1000.0	0.226	m3	2.00	0.5	
Arena	861.2	2651.1	0.325	m3	48.00	15.6	
Piedra	856.0	2708.1	0.316	m3	68.00	21.5	183.1
R.Comp-28d (kg/cm2):		291.8					

SOL TIPO I, A/C=0.45							
	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio Total S./m3
	Peso (kg) (A)	(B)	(A)/(B)	und			
Cemento	544.4	42.5	12.810	bol	17.30	221.6	
Agua	246.1	1000.0	0.246	m3	2.00	0.5	
Arena	767.5	2651.1	0.289	m3	48.00	13.9	
Piedra	762.9	2708.1	0.282	m3	68.00	19.2	255.2
R.Comp-28d (kg/cm2):		407.4					

SOL TIPO I, A/C=0.55							
	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio Total S./m3
	Peso (kg) (A)	(B)	(A)/(B)	und			
Cemento	418.2	42.5	9.840	bol	17.30	170.2	
Agua	231.3	1000.0	0.231	m3	2.00	0.5	
Arena	842.3	2651.1	0.318	m3	48.00	15.2	
Piedra	837.2	2708.1	0.309	m3	68.00	21.0	207.0
R.Comp-28d (kg/cm2):		348.0					

SOL TIPO I, A/C=0.60							
	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio Total S./m3
	Peso (kg) (A)	(B)	(A)/(B)	und			
Cemento	375.0	42.5	8.824	bol	17.30	152.6	
Agua	226.3	1000.0	0.226	m3	2.00	0.5	
Arena	867.7	2651.1	0.327	m3	48.00	15.7	
Piedra	862.4	2708.1	0.318	m3	68.00	21.7	190.5
R.Comp-28d (kg/cm2):		319.2					

ANEXO 7

CONDICIONES AMBIENTALES

7.1 TEMPERATURA Y PORCENTAJE DE HUMEDAD PROMEDIO DURANTE LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS EN CONCRETO

Entre los meses de Abril y Octubre del año 2010, periodo de tiempo en que se realizaron los ensayos de concreto de la presente tesis en el Laboratorio de Ensayo Materiales de la UNI, se obtuvieron los siguientes rangos de valores promedio de temperatura y porcentaje de humedad:

Temperatura (°C)	14 - 24
Humedad Relativa Atmosférica (%)	68 – 94 (*)

(*) Fuente: SENAHMI

Según el ASOCEM considera que el trabajo con concreto se realiza en condiciones normales cuando la temperatura ambiente varía entre 5 y 30°C. Por lo tanto se puede asegurar que las condiciones ambientales en las que se desarrollo los ensayos de concreto en esta investigación son normales.