

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

MARK HUINCHO SALVATIERRA

ASESOR

Ing. CARLOS A. BARZOLA GASTELÚ

LIMA – PERÚ

2017

© 2017, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

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

Mark, Huincho Salvatierra.

jackmarkov@hotmail.com

Cel.: 962570613

DEDICATORIA

A mis padres Wilmer y María Elena,
por su invaluable apoyo y por nunca
dejar de creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a mí asesor el Ing. Carlos A. Barzola Gastelú y al Dr. Victor I. Fernandez Davila, por las pertinentes indicaciones técnicas y transmisión de conocimientos.

Al laboratorio de Ensayos de Materiales de la FIC UNI, por permitirme realizar el trabajo de investigación en sus instalaciones y hacer uso del valioso equipamiento. A todo el personal técnico del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la FIC UNI, por su apoyo constante en la realización del trabajo de investigación.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, por permitirme ser miembro activo y hacer uso de sus instalaciones para concluir la elaboración de mi tesis.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, por haber posibilitado mi formación profesional. A mis padres María Elena y Wilmer y a mis hermanos Edher y Helena, por conformar una linda familia de la cual me siento orgulloso.

A todos los docentes, amigos, compañeros que de una u otra manera me impulsaron a continuar y terminar la tesis.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PRÓLOGO	5
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	13
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 MARCO TEÓRICO	16
1.2.1 Calor y temperatura	16
1.2.2 Formas de transmisión del calor	16
1.2.3 Combustión	17
1.2.4 Combustibilidad	17
1.2.5 Comportamiento del Concreto	18
1.2.6 Temperatura de los incendios	19
CAPÍTULO II: LOS MATERIALES	20
2.1 AGREGADOS	20
2.1.1 Propiedades físicas de los agregados	20
2.2 CEMENTO	28
2.2.1 Cemento usado	28
2.3 AGUA	28
2.3.1 Agua utilizada	28
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	29
3.1 PREPARACIÓN DEL CONCRETO	29
3.1.1 Diseño del concreto patrón	29
3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	33
3.2.1 Consistencia	33
3.2.2 Peso unitario	34
3.2.3 Contenido de aire	35
3.3 PROCESO DE QUEMADO DE MUESTRAS	36
3.3.1 El combustible	38
3.3.2 El horno	39
3.3.3 El Termómetro Laser-Infrarrojo digital	40
3.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	41
3.4.1 Resistencia a la compresión	41
3.4.2 Resistencia a la Tracción por compresión diametral	43
3.4.3 Módulo Elástico	44

3.5	CUADROS Y GRÁFICOS DE RESULTADOS	45
3.5.1	Resultados de Resistencia a la compresión	45
3.5.2	Resultados de Resistencia a la Tracción	51
3.5.3	Resultados del Módulo de Elasticidad	56
3.5.4	La relación Tracción- Compresión (T / f'c)	62
3.5.5	Influencia del tamaño de la muestra (probeta)	65
3.5.6	Temperaturas alcanzadas	69
	CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1	GENERALIDADES	73
4.2	AGREGADOS	73
4.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	73
4.4	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	74
4.4.1	Resistencia a la compresión	74
4.4.2	Resistencia a la tracción por compresión diametral	75
4.4.3	Módulo de Elasticidad	77
4.4.4	Relación Tracción- Compresión (T / f'c)	78
4.4.5	Influencia del tamaño de la muestra (probeta)	79
4.4.6	Temperaturas alcanzadas	81
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1	CONCLUSIONES	83
5.2	RECOMENDACIONES	88
	BIBLIOGRAFÍA	89
	ANEXOS	90

RESUMEN

La presente investigación estudia el efecto de la incidencia del fuego directo en un concreto convencional; usando cemento Portland tipo I, relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 y cantidades de agua que garanticen la óptima trabajabilidad. El diseño del concreto se ha basado en el Peso Unitario Compactado Máximo de la combinación de los agregados, obteniéndose concretos de mediana resistencia y de una consistencia entre 3 a 4 pulgadas. Para evaluar y medir la temperatura se ha usado por primera vez un termómetro Infrarrojo Digital que registra la temperatura con buena precisión y en tiempo real prácticamente de cualquier superficie. Para aislar el calor y garantizar la homogeneidad de la temperatura en el proceso de quemado de las muestras se ha diseñado y construido, especialmente para este estudio, un horno de forma cilíndrica con capacidad por tanda de ensayo de hasta 15 muestras de 4" x 8" o 6 muestras de 6"x12" de tamaño. El uso de la madera reciclada como material combustible ha permitido que la investigación minimice el impacto hacia el medio ambiente.

Se ha desarrollado un concreto Patrón (CPO) para las tres relaciones agua-cemento y se han comparado sus propiedades con muestras sometidas al fuego directo en tiempos de exposición de 1, 2 y 3 horas para las tres relaciones a/c. Todos los ensayos han sido prácticamente sometidos a la misma curva de temperatura permitiendo hacer una comparación más certera de las propiedades en base a una curva promedio de temperatura para todo el estudio. Es así que se ha logrado evaluar la pérdida de masa, la pérdida de la resistencia en compresión, tracción y del módulo elástico, la variación del comportamiento elástico del concreto, la relación Tracción- Compresión, la influencia del tamaño de la muestra (probeta) en la resistencia a compresión y en la pérdida de masa, las temperatura alcanzadas y su evolución en el tiempo. Finalmente se presentan gráficos del efecto del fuego directo al comportamiento lineal del concreto mostrados en las curvas esfuerzo- deformación, adicionalmente se adjunta todos los datos de los ensayos y la hoja técnica del Termómetro Infrarrojo digital.

ABSTRACT

The present study investigates the effect of direct fire incidence on conventional concrete using Portland cement type I, water-cement ratios of 0.60, 0.65, 0.70, and amounts of water to guarantee optimum workability. The design of the concrete has been based on the compacted unit weight Maximum of the combination of the aggregates, obtaining concretes of medium resistance and of a consistency between 3 to 4 inches. To evaluate and measure the temperature has been used for the first time a Digital Infrared thermometer that records the temperature with good accuracy and in real time practically of any surface. To isolate the heat and ensure homogeneity of temperature in the burn process of the samples has been designed and built especially for this study, a cylindrical furnace with test run capacity of up to 15 samples of 4 "x 8" or 6 samples of 6 "x12" of size. The use of recycled wood as combustible material has allowed research to minimize the impact on the environment.

A concrete pattern (CPO) has been developed for the three water-cement ratios and their properties have been compared with samples subjected to direct fire at exposure times of 1, 2 and 3 hours for the three a/c ratios. All the tests have been practically subjected to the same temperature curve allowing a more accurate comparison of the properties based on an average temperature curve for the whole study. Thus, it has been possible to evaluate the loss of mass, loss of compressive strength, tensile and elastic modulus, variation of elastic behavior of concrete, Traction - Compression ratio, influence of sample size, in the compressive strength and mass loss, the temperature reached and its evolution over time. Finally, graphs of the effect of the direct fire to the linear behavior of the concrete shown in the stress - strain curves, in addition all test data and the digital IR Thermometer datasheet are attached.

PRÓLOGO

En el presente estudio se evalúa el efecto de la incidencia del fuego directo en un concreto convencional. Para medir la temperatura se ha usado por primera vez un termómetro Infrarrojo Digital, que registra la temperatura en tiempo real y con óptima precisión. Se ha hecho ensayos tanto en probetas de 4" x 8" y de 6"x12" de tamaño en un horno cilíndrico térmicamente aislado. El material combustible usado fue madera reciclada lo que ha permitido que la investigación minimice el impacto hacia el medio ambiente.

Se desarrolla un concreto Patrón y se comparan sus propiedades con muestras sometidas al fuego directo en los diferentes tiempos de exposición para las tres relaciones a/c. Todos los ensayos han sido prácticamente sometidos a la misma curva de temperatura, es así que se ha logrado evaluar la pérdida de masa, la pérdida de la resistencia en compresión, tracción y del módulo elástico, la variación del comportamiento elástico del concreto, la relación Tracción-Compresión, la influencia del tamaño de la muestra (probeta) en la resistencia a compresión y en la pérdida de masa, las temperatura alcanzadas y su evolución en el tiempo. Finalmente en la parte de los anexos se presentan gráficos donde se muestran los efectos del fuego directo en el concreto, tales como la fisuración, el cambio de color (descoloración) y textura.

ASESOR

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2.1	Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado fino 21
TABLA 2.2	Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso 21
TABLA 2.3	Determinación del peso específico del agregado fino 23
TABLA 2.4	Determinación del peso específico del agregado grueso 23
TABLA 2.5	Límites granulométricos para el agregado fino Norma NTP 400.037. 24
TABLA 2.6	Granulometría del agregado fino usado 24
TABLA 2.7	Granulometría del agregado grueso usado 25
TABLA 2.8	Límites granulométricos del agregado grueso correspondiente al Huso 5 (NTP 400.037) 25
TABLA 2.9	Cálculo del módulo de finura del agregado fino 26
TABLA 2.10	Cálculo del módulo de finura del agregado grueso 26
TABLA 2.11	Resumen de las propiedades de los agregados 28
TABLA 3.1	Valores del P. U. C. de la combinación de los agregados 29
TABLA 3.2	Resultados de agua y slump para a/c=0.65 30
TABLA 3.3	Porcentajes de AF/ AG vs. Resistencia a los 7 días 31
TABLA 3.4	Diseño del concreto Patrón para las diferentes relaciones a/c 33
TABLA 3.5	Codificación de las mezclas preparadas 33
TABLA 3.6	Valores de consistencia 34
TABLA 3.7	Valores de peso unitario para el concreto fresco 34
TABLA 3.8	Porcentaje contenido de aire 35
TABLA 3.9	Codificación de las muestras de concreto en estado endurecido 41
TABLA 3.10	Valores de resistencia a la compresión 42
TABLA 3.11	Valores de tracción por compresión diametral 43
TABLA 3.12	Valores del módulo de elasticidad 44
TABLA 3.13	Resultados de los ensayos de compresión 46
TABLA 3.14	Resultados de los ensayos de tracción 51
TABLA 3.15	Resultados de los ensayos del módulo elástico 57
TABLA 3.16	Resultados de los ensayos de tracción y compresión 62
TABLA 3.17	Resultados de resistencia a la compresión en probetas de tamaño 4"x8" y 6"x12" 66

TABLA 3.18	Resultados de la pérdida de masa en probetas de tamaño 4"x8" y 6"x12"	68
TABLA 3.19	Resultados de las temperaturas alcanzadas en P01 para los ensayos de compresión (EC), tracción (ET) y elasticidad (EE)	70
TABLA 3.20	Variación (%) de temperaturas en P01 con respecto a la temperatura media para los diferentes ensayos	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
FIGURA 2.1	Curva granulométrica del agregado fino	27
FIGURA 2.2	Curva granulométrica del agregado grueso huso 5	27
FIGURA 3.1	Valores de P.U.C vs. Porcentaje de AF	30
FIGURA 3.2	Variaciones de agua vs. Slump para a/c=0.65	31
FIGURA 3.3	Porcentajes de Arena vs. Resistencia a compresión	32
FIGURA 3.4	Superposición entre valores de P.U.C y resistencia a compresión	32
FIGURA 3.5	Asentamiento de las mezclas de concreto	34
FIGURA 3.6	Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto	35
FIGURA 3.7	Contenido de aire, para cada mezcla de concreto	35
FIGURA 3.8	Proceso de quemado de muestras de tanda de prueba, (a) registro inicial de masa y temperatura de las muestras, (b) (c) (d) quemado de muestras con monitoreo permanente de la temperatura, (e) (f) registro final de masa y temperatura de las muestras	37
FIGURA 3.9	Zonas de lectura de la temperatura P01 y p02	38
FIGURA 3.10	El combustible, (a) madera del botadero LEM-UNI, (b) madera reciclada	38
FIGURA 3.11	Horno utilizado (a) Horno acabado final, (b) estructura del horno, (c) parrilla de soporte de muestras	39
FIGURA 3.12	Termómetro IR digital (a) pirómetro TP7, (b) lectura de temperatura de muestra cilíndrica	40
FIGURA 3.13	Valores de resistencia a la compresión de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	42
FIGURA 3.14	Valores de resistencia a la tracción de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	43
FIGURA 3.15	Valores del módulo de elasticidad de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	45

FIGURA 3.16	Pérdida de la resistencia a la compresión (%) de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	47
FIGURA 3.17	Pérdida de la resistencia a la compresión (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	47
FIGURA 3.18	Resistencia a la compresión en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	48
FIGURA 3.19	Temperaturas promedio alcanzadas en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	48
FIGURA 3.20	Temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	49
FIGURA 3.21	Pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.	49
FIGURA 3.22	Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	50
FIGURA 3.23	Pérdida de masa en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	50
FIGURA 3.24	Pérdida de la resistencia a la tracción (%) de todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	52
FIGURA 3.25	Pérdida de la resistencia a la tracción (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	53
FIGURA 3.26	Resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	53
FIGURA 3.27	Pérdida de la resistencia a la tracción (%) de todas las muestras: de 0 h (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	54
FIGURA 3.28	Temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	54
FIGURA 3.29	Pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	55
FIGURA 3.30	Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	55
FIGURA 3.31	Pérdida de masa en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	56
FIGURA 3.32	Pérdida del módulo de elasticidad (%) de todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	58
FIGURA 3.33	Pérdida del módulo de elasticidad (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	58
FIGURA 3.34	Módulo de elasticidad en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	59

FIGURA 3.35	Temperaturas promedio alcanzadas en todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	59
FIGURA 3.36	Temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	60
FIGURA 3.37	Pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo	60
FIGURA 3.38	Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	61
FIGURA 3.39	Pérdida de masa en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	61
FIGURA 3.40	Resistencia a la tracción y T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para la relación a/c=0.60	63
FIGURA 3.41	Resistencia a la tracción y T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para la relación a/c=0.65	63
FIGURA 3.42	Resistencia a la tracción y T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para la relación a/c=0.70	64
FIGURA 3.43	Relación T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c	64
FIGURA 3.44	Resistencia a compresión en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12"	66
FIGURA 3.45	Pérdida de la resistencia a compresión (%) en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12"	67
FIGURA 3.46	Relación entre la resistencia a compresión de probeta de 6"x12" (PG) y de probeta de 4"x8" (PC) para las diferentes relaciones a/c	67
FIGURA 3.47	Pérdida de masa (gr.) en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12"	68
FIGURA 3.48	Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12"	69
FIGURA 3.49	Temperaturas alcanzada en P01 en los diversos ensayos para la relación a/c=0.60	71
FIGURA 3.50	Temperaturas alcanzada en P01 en los diversos ensayos para la relación a/c=0.65	71
FIGURA 3.51	Temperaturas alcanzada en P01 en los diversos ensayos para la relación a/c=0.70	71
FIGURA 3.52	Temperaturas Promedio alcanzadas en P01 para el presente estudio	72
FIGURA 3.53	Curvas de Temperaturas Promedio en zona no expuesta (P01) y expuesta (P02) al fuego directo para el presente estudio	72

LISTA DE SÍMBOLOS

IR	Abreviación de la palabra “Infrarrojo”
a/c	Relación del peso de agua y cemento
CPO	Concreto patrón de diseño
P.U.S	Peso Unitario Suelto
P.U.C	Peso Unitario Compactado
P.U.C. máx.	Peso Unitario Compactado Máximo
Slump	Medida de la consistencia, asentamiento
AF/AG	Relación entre el agregado fino y agregado grueso
F’c	Resistencia a la compresión
T	Resistencia a la tracción
E	Módulo de elasticidad
T / f’c	Relación entre la resistencia a la Tracción y Compresión
PC	Probeta de 4”x8” de tamaño
PG	Probeta de 6”x12” de tamaño
P01	Zona de la muestra no expuesta al fuego directo
P02	Zona de la muestra expuesta al fuego directo
EC	Ensayos de compresión
ET	Ensayos de tracción
EE	Ensayos de módulo elástico
CPO- 0.60	Muestra Patrón de a/c=0.60, sin exposición al fuego
CPO1- 1	Muestra de a/c=0.60 y 1 hora de exposición al fuego
CPO1- 2	Muestra de a/c=0.60 y 2 horas de exposición al fuego
CPO1- 3	Muestra de a/c=0.60 y 3 horas de exposición al fuego
CPO- 0.65	Muestra Patrón de a/c=0.65, sin exposición al fuego
CPO2- 1	Muestra de a/c=0.65 y 1 hora de exposición al fuego
CPO2- 2	Muestra de a/c=0.65 y 2 horas de exposición al fuego
CPO2- 3	Muestra de a/c=0.65 y 3 horas de exposición al fuego
CPO- 0.70	Muestra Patrón de a/c=0.70, sin exposición al fuego
CPO3- 1	Muestra de a/c=0.70 y 1 hora de exposición al fuego
CPO3- 2	Muestra de a/c=0.70 y 2 horas de exposición al fuego
CPO3- 3	Muestra de a/c=0.70 y 3 horas de exposición al fuego

INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer más acerca del efecto del calor en el concreto por la incidencia del fuego directo, ha motivado y hecho posible el desarrollo de la presente investigación. En estos últimos años hemos sido testigos del incremento notorio de los eventos de incendio en nuestro medio y la gravedad de los daños materiales y no materiales que pueden llegar a causar. Existe información bibliográfica acerca del efecto de las altas temperaturas en el concreto, pero gran parte está realizada en condiciones un poco alejadas de la realidad de un evento de incendio. Existe una limitada bibliografía en tanto a la evaluación apropiada del efecto del fuego directo en el concreto y que se han realizado en estos últimos años gracias a la tecnología. En este sentido el presente trabajo se centra en evaluar el efecto del fuego directo en las propiedades mecánicas en un concreto de resistencia convencional y así aportar un nuevo procedimiento experimental más eficiente para el desarrollo y/o verificación de modelos numéricos en el efecto del fuego en el concreto.

El avance acelerado en tecnología de los instrumentos de medición en diversos campos de la ingeniería es impresionante, sin embargo el complicado proceso de registro de temperaturas así como el elevado costo de sensores que registran altas temperaturas en las muestras ha motivado el uso de un termómetro laser Infrarrojo digital para medir y monitorear la temperatura durante todo el estudio de manera más eficiente, ya que permite medir la temperatura con una buena precisión y sin necesidad de contacto con la materia en análisis.

La presente investigación tiene los siguientes objetivos:

a) Objetivo general:

- Determinar el efecto del fuego directo en las propiedades mecánicas del concreto convencional para las tres relaciones a/c estudiadas.
- Determinar el efecto del fuego directo en la estructura física del concreto, para las temperaturas alcanzadas.

b) Objetivos específicos:

- Determinar cuantitativamente las temperaturas alcanzadas en el presente estudio para los 3 tiempos de exposición, tanto para la superficie expuesta al fuego directo como la no expuesta al fuego directo.
- Determinar cuantitativamente la pérdida de resistencia en compresión, resistencia en tracción y del módulo elástico para las tres relaciones a/c estudiadas.
- Determinar cuantitativamente como influye el tamaño de la muestra en la resistencia a compresión y la pérdida de masa para las tres relaciones a/c estudiadas.
- Determinar cuantitativamente el efecto del fuego directo en el valor de la relación $T/f'c$ del concreto para las tres relaciones a/c estudiadas.
- Determinar cualitativamente el efecto del fuego directo en la fisuración y en el cambio de color de las muestras cilíndricas estudiadas.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

La búsqueda incansable de conocer más acerca del comportamiento del concreto a altas temperaturas por incidencia de fuego directo, ha motivado la presente investigación titulada “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”. El presente estudio ha sido posible gracias a la utilización de tecnología actual en lo que respecta a la medición de temperatura en superficies sin necesidad de contacto, como es el caso del uso del termómetro Laser IR digital (pirómetro), que mide la temperatura de cualquier superficie en tiempo real y con buena precisión, que es mundialmente usado en la industria. También se ha construido un horno cilíndrico para el quemado de las muestras, que ha sido diseñado y construido especialmente para esta investigación.

La presente investigación experimental se ha dividido en cinco capítulos:

Capítulo I: Aspectos Generales; trata sobre los antecedentes revisados para el inicio de la investigación, asimismo se presenta un resumido marco teórico con los principales conceptos sobre el tema.

Capítulo II: Los Materiales; trata sobre los materiales y sus propiedades, usados en la elaboración del concreto patrón para esta investigación, entre ellos tenemos a los agregados, el cemento y el agua básicamente.

Capítulo III: Metodología Experimental; presenta la metodología seguida, desde la preparación del concreto, las propiedades del concreto en estado fresco, el proceso del quemado de muestras y las características del horno, combustible y pirómetro usado, propiedades del concreto en estado endurecido, finalmente cuadros y gráficos de los resultados que son parte gráfica del análisis de los resultados.

Capítulo IV: Discusión de Resultados; presenta el análisis detallado de los resultados luego de analizar cuadros y gráficos del capítulo anterior.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones; presenta las conclusiones y recomendaciones del presente estudio experimental.

Finalmente, debido a que el presente trabajo se centra en evaluar el efecto del fuego directo en las propiedades mecánicas en un concreto de resistencia convencional, espero aportar un nuevo procedimiento experimental más eficiente para el desarrollo y/o verificación de modelos numéricos en el efecto del fuego en el concreto, además de abrir la posibilidad a nuevas investigaciones futuras que puedan surgir relacionados al efecto del fuego en el concreto, siendo este un tema que viene siendo estudiado y evaluado últimamente.

1.1 Antecedentes

En 1996, Delgado Poma C. W. [5], realizó un estudio donde observo el cambio de la resistencia a la compresión, la pérdida de peso, cambio en las dimensiones así como la variación en módulo de Elasticidad de las muestras. Para ello sometió muestras de concreto convencional a 100°C, 200°C, 300°C y 400°C en tiempos controlados de permanencia de 1, 2, 3 y 4 horas. El proceso de quemado fue llevado a cabo en un horno eléctrico y la medida de la temperatura se realizó mediante termocuplas instaladas en el horno. Respecto a la resistencia a compresión, para la relación $a/c=0.60$ se obtuvieron pérdidas de 22%, 35%, 51%, 65%; para la relación $a/c=0.65$, 22%, 35%, 51%, 65% y para la relación $a/c=0.70$, 22%, 35%, 51%, 65%, estos porcentajes de pérdidas corresponden a las temperaturas de 100°C, 200°C, 300°C y 400°C, respectivamente.

En 2010, Souza y Moreno [10], estudió el efecto de las altas temperaturas en un concreto convencional de relación $a/c=0.60$ ($f'c=30.5$ MPa. ≈ 308.5 kg/cm²). Las muestras se sometieron a 300°C, 600°C y 900°C y fueron calentados gradualmente a un ratio constante de 15°C/min. Las muestras fueron de forma cilíndrica de 10cm de diámetro y de 20cm de altura. Respecto a la resistencia a compresión se obtuvieron pérdidas de 12%, 14%, 92%; con respecto a la resistencia a la tracción se obtuvieron pérdidas de 21%, 40%, 98% y respecto al módulo de elasticidad se obtuvieron pérdidas de 50%, 70%, 97%, estos porcentajes de pérdidas corresponden a las temperaturas de 300°C, 600°C y 900°C, respectivamente. También se ha evaluado el efecto del lento y rápido enfriado de las muestras, la recuperación de la resistencia mecánica por rehidratación (sumergido en agua y envuelto en membrana plástica).

En 2015, Cruz Hernández R. A. [4], estudió el efecto de las altas temperaturas en un concreto de relación $a/c=0.50$ ($f'c=36.5$ MPa. $\approx 370\text{kg/cm}^2$). Se elaboraron dos tipos de muestras, muestras de forma cilíndrica (de 10 cm. de diámetro y de 20 cm. de altura) y muestras de forma cúbica (cubos de 20 cm. de arista). Las muestras cilíndricas se quemaron en un horno convencional (horno a convección), sin controlar los tiempos en alcanzar las temperaturas de análisis, esto permitió que se las muestras reciban el calor por en toda su superficie y de una forma homogénea. Las muestras cúbicas se sometieron al fuego directo (quemador de vacío) en una sola cara del cubo, siguiendo la curva estándar ISO 334 [7]. Para ambas muestras se aplicó la carga-temperatura hasta que las muestras alcancen las temperaturas de análisis de 200°C, 400°C, 600°C, 800°C y 1000°C, que fueron mantenidas por una hora. Las temperaturas se midieron con termocuplas, ubicados estratégicamente para el análisis, en las muestras cilíndricas se ubicaron en la superficie, en las muestras cubicas se colocaron dos adentro de la muestra, uno a 4cm y el otro a 10cm de la superficie de quemado, centrados y espaciados 4cm entre sí, un tercero en la superficie de quemado y otro adicional para monitorear la temperatura del medio. Respecto a la resistencia a compresión en las muestras cilíndricas se obtuvieron pérdidas de 21%, 49%, 78%, 89%; para las temperaturas de 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, respectivamente. También se ha evaluado la pérdida de masa, microscopia óptica, velocidad de pulso ultrasónico, difracción de rayos X y porosidad.

Numerosos investigadores han obtenido resultados diversos, esto debido principalmente a la metodología experimental adoptadas en cada estudio, siendo algunos aspectos: diversos procedimientos de quemado, métodos estandarizados adoptados (ASTM E119 [2], ISO834 [7], Eurocode 1 [6]), diversas formas de medición de las variables de análisis (temperatura, fisuración, etc.), muy aparte de las propiedades particulares de cada concreto en estudio y de las formas y tamaño de las muestras (cilíndricas, cubicas, etc.). En diversos estudios que se han realizado existen ciertas características experimentales adoptadas que acercan o alejan de las condiciones que se quiere lograr simular, que es lograr simular un evento de incendio real, que es un proceso complejo en donde se presentan todas las formas de transmisión del calor.

Actualmente la tendencia en investigación aplicada es desarrollar metodología experimental más realista y rigurosa que puedan simular eficientemente el efecto

de un incendio real y así obtener resultados más certeros respecto del efecto real de un evento de incendio en el concreto.

1.2 Marco teórico

En esta sección se presenta los conceptos básicos necesarios para entender los conceptos referentes al calor, temperatura, formas de transferencia de calor, combustión, combustibilidad así como también el comportamiento del concreto y la temperatura de los incendios.

1.2.1 Calor y temperatura

El calor y la temperatura se encuentran relacionados entre sí, aunque representan conceptos diferentes.

La temperatura mide la energía térmica que posee un cuerpo. Un cuerpo caliente tendrá una temperatura mayor que un cuerpo frío. Concretamente la temperatura mide la vibración o la energía interna de las partículas que componen ese cuerpo de forma que un cuerpo más caliente tendrá una temperatura mayor. Así pues podríamos definir temperatura como la medición de la actividad molecular del objeto.

Calor por otra parte es la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro de menor temperatura. El calor siempre fluye desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura y no deja de transferirse hasta que los dos cuerpos se igualan en temperatura y quedan en equilibrio dentro de un sistema.

1.2.2 Formas de transmisión del calor

En un caso de incendio es un evento complejo ya que se presentan todas las formas de transmisión de calor, siendo estos:

- **Convección:**

Transmisión del calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes. El humo y los gases calientes tienden a subir desde el lugar del incendio. El aire cercano al fuego se calienta y también sube, al ascender transporta partículas calientes lejos del incendio. A medida que estos gases y

sólidos calientes se alejan, el aire más frío se vuelve hacia el fuego. Esto genera corrientes que aceleran el proceso de convección, que, a su vez, se va acelerando al aumentar la velocidad de combustión.

- **Conducción:**

Es la transmisión del calor a través de un sólido. Los objetos metálicos, tales como vigas, columnas, tuberías, clavos y cables son excelentes conductores del calor.

- **Radiación:**

Es la transmisión de calor a través de ondas invisibles que se propagan por el espacio al igual que la luz. Estas ondas o radiaciones se transmiten en línea recta en todas las direcciones.

1.2.3 Combustión

El proceso de combustión se define como una reacción química de oxidación en la cual se desprende gran cantidad de energía en forma de luz y calor, comúnmente manifestándose visualmente por el fuego.

En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), siendo generalmente el oxígeno en forma de O_2 gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

1.2.4 Combustibilidad

Un material incombustible se define como aquel material que al ser calentarlo por algún método determinado no arde ni emite vapores en cantidad suficiente para inflamarse al contacto de una llama.

Hay que tener presente que un material incombustible puede cooperar en mucho al desarrollo de un incendio. Es indudable que todo material resistente al fuego es incombustible, pero no todo material incombustible es resistente al fuego. Son considerados como incombustibles según las normas francesas los cuerpos que bajo acción de temperaturas que no excedan los $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, no son susceptibles de

combinarse con el oxígeno del aire y dar lugar a un desprendimiento de calor. Entre los materiales que cumplen con lo anterior se tiene: el concreto, las piedras, los ladrillos y algunos metales.

1.2.5 Comportamiento del Concreto

El concreto a altas temperaturas es alterable, en cuanto a los agregados, sufren deformaciones y el cemento hidratado se disgrega perdiendo su cualidad ligante. Por otra parte los agregados sufren varias reacciones, principalmente los agregados calcáreos sufren una fuerte retracción y por encima de los 900°C se descomponen liberando óxidos de calcio, magnesio y anhídrido carbónico, así como también los feldspatos granitos y silicios, según Neville [8].

En un estudio realizado por Uddin T. y Culver C. G. [11], listaron propiedades del concreto que tenían particular influencia en el desempeño a altas temperaturas del concreto, siendo estas las siguientes: tipo de agregado, humedad del concreto, esfuerzos existentes en el concreto, recubrimiento del concreto, módulo de elasticidad, Conductividad térmica, difusividad, calor específico, etc.

La pérdida de masa en el concreto está directamente influenciada por la forma de transmisión del calor, que depende del tipo de horno usado y del procedimiento de quemado seguido. También se ve influenciada por la forma (cilíndrica, cubica, etc.) y volumen de las muestras así como también de la curva tiempo –temperatura seguida en el proceso de quemado (seguir la curva ISO 834 o quemar libremente en un horno). Las pérdidas en las propiedades mecánicas del concreto también se verían influenciado por los 3 aspectos antes mencionados, según Cruz Hernández R. A. [4].

Un factor que tiene una influencia importante en el efecto de la alta temperatura en las propiedades mecánicas del hormigón es la velocidad de enfriamiento. La utilización de agua en un incendio, por ejemplo, es similar a la extinción, causando una gran reducción de resistencia como resultado de intensos gradientes de temperatura creados en el hormigón.

Es importante señalar que parte de la disminución de las propiedades mecánicas como resultado del calentamiento puede recuperarse con la rehidratación del concreto. Según Canovas [3] si la temperatura del concreto no es superior a

500°C, puede estar sujeta a rehidratación posterior, lo que puede ayudar a recuperar hasta un 90% de su resistencia inicial después de un año.

1.2.6 Temperatura de los incendios

Para apreciar la temperatura máxima de un incendio es necesario considerar no solo los materiales que la componen la estructura sino también los de recubrimiento, acabado, el amueblamiento y elementos depositados. Cabe señalar que una estructura con materiales incombustibles no está ajena al peligro de un incendio.

En general se puede establecer que la temperatura máxima alcanzada con combustibles sólidos nunca es superior a los 800 °C o 1000°C. Con la madera se puede llegar hasta los 1200°C, con combustibles líquidos se puede llegar hasta los 1500°C.

CAPÍTULO II: LOS MATERIALES

2.1 Agregados

Los agregados utilizados en la presente investigación constituyen en promedio 74% del volumen total de una mezcla de concreto y muchas de las propiedades mecánicas dependen directamente de las propiedades físicas y químicas de los agregados.

El agregado grueso proviene de la cantera UNICON y el agregado fino proviene de la cantera de Trapiche, ambos cumplen con la NTP 400.037:2015 y la Norma ASTM C 33-07.

2.1.1 Propiedades físicas de los agregados

La importancia de conocer las propiedades físicas de los agregados radica principalmente en evaluar el comportamiento del concreto elaborado con estos agregados, así como también llevar un buen control de calidad tanto en el lugar donde se extraen (cantera) como en laboratorio. La metodología utilizada para determinar las propiedades físicas de los agregados está de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas vigentes y las Normas ASTM.

a) Peso unitario de los agregados

El peso unitario del agregado es comúnmente definido como el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de realizar proporciones de mezcla de concreto por volumen. El peso unitario del agregado depende de condiciones intrínsecas en el mismo, como la forma, granulometría y tamaño máximo. Asimismo, depende de factores externos como la relación de tamaño máximo con el volumen del recipiente, la consolidación impuesta, la forma de colocación, etc. De acuerdo al tipo de consolidación hay dos tipos de peso unitario: suelto y compactado, los valores de peso unitario para el agregado fino y grueso se detallan en las tablas 2.1 y 2.2 respectivamente, los cuales han sido obtenidos según la NTP 400.017.

TABLA 2.1 Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

	M-1	M-2	M-3	unidades
Peso del recipiente	1.558			Kg
Volumen del recipiente (1/10 pie ³)	0.00283			m ³
Peso del material + tara sin compactar	6.19	6.20	6.18	kg
Peso del material suelto	4.63	4.64	4.62	kg
Peso del material + tara compactado	6.73	6.78	6.73	kg
Peso del material compactado	5.17	5.22	5.18	kg
Peso unitario suelto	1636			kg/m³
Peso unitario compactado	1833			kg/m³

TABLA 2.2 Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

	M-1	M-2	M-3	unidades
Peso del recipiente	4.9			Kg
Volumen del recipiente (1/3 pie ³)	0.009433			m ³
Peso del material + tara sin compactar	18.19	18.08	18.20	kg
Peso del material suelto	13.29	13.18	13.30	kg
Peso del material + tara compactado	20.07	20.04	20.05	kg
Peso del material compactado	15.17	15.14	15.15	kg
Peso unitario suelto	1405			kg/m³
Peso unitario compactado	1606			kg/m³

b) Peso Específico

El peso específico es un indicador de la calidad del agregado en estudio, es decir que valores elevados del peso específico corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que valores bajos, corresponden generalmente a agregados absorbentes y débiles, caso en el cual es recomendable realizar pruebas adicionales.

Definiciones

Peso específico (Densidad relativa).- La relación entre la densidad del agregado en estado seco y la densidad de agua destilada a una temperatura dada.

Peso específico saturado superficialmente seco (Densidad relativa superficialmente seca).- La relación entre la densidad del agregado en estado saturado superficialmente seco y la densidad de agua destilada a una temperatura dada.

El peso específico se usa para el cálculo del volumen ocupado por los agregados en las mezclas de concreto cuando el agregado se encuentra seco o se supone seco. Por otra parte el peso específico saturado superficialmente seco se usa cuando el agregado se encuentra húmedo, es decir completó su absorción

Los valores de peso específico para el agregado fino y grueso que se ha utilizado en la investigación se detallan en las tablas 2.3 y 2.4, los cuales han sido obtenidos según la NTP 400.022 y NTP 400.021.

c) Absorción

La absorción se puede definir como la capacidad que tiene los agregados de atrapar las moléculas de agua en sus poros, producido por la capilaridad principalmente. Su influencia radica en el aporte de agua al concreto haciendo variar propiedades importantes como la resistencia y la trabajabilidad. La absorción de los agregados se detalla en las tablas 2.3 y 2.4 y han sido obtenidos según la NTP 400.022 y NTP 400.021.

d) Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua superficial retenida por las partículas del agregado, esta propiedad varía en función del tiempo y condiciones ambientales, es por esto que para la investigación el contenido de humedad fue determinado para cada diseño de mezcla según la NTP 400.016.

TABLA 2.3 Determinación del peso específico del agregado fino.

	M-1	M-2	M-3	unidades
Peso de la muestra S.S.S.	500			g
Peso del balón seco	140			g
Peso S.S.S. + balón	640			g
Peso S.S.S. + balón + agua	954.00	952.40	954.20	g
Peso del agua	314.00	312.40	314.20	g
Peso de la tara	267.50	169.00	316.50	g
Peso de la tara + muestra seca	765.50	665.50	815.00	g
Peso de la muestra seca	498.00	496.50	498.50	g
Volumen del balón	500			cm ³
Peso Específico (PE)	2.67			g/cm³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (PESSS)	2.68			g/cm³
Peso Específico Aparente (PEA)	2.70			g/cm³
Absorción (Abs)	0.47			%

TABLA 2.4 Determinación del peso específico del agregado grueso.

	M-1	M-2	M-3	unidades
Peso de la muestra S.S.S.	3609.50	3549.00	3547.00	g
Peso de la canastilla dentro del agua	875			g
Peso de la muestra S.S.S. + la canastilla en agua	3168.70	3128.50	3128.20	g
Peso de la muestra S.S.S. en agua	2293.70	2253.50	2253.20	g
Peso de la tara	311.00	311.00	311.00	g
Peso de la tara + muestra seca	3897.50	3841.00	3837.00	g
Peso de la muestra seca	3586.50	3530.00	3526.00	g
Peso Específico (PE)	2.73			g/cm³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (PESSS)	2.74			g/cm³
Peso Específico Aparente (PEA)	2.77			g/cm³
Absorción (Abs)	0.59			%

e) Granulometría de los agregados

La distribución de los tamaños del agregado, la granulometría está directamente relacionada con las características de manejabilidad del concreto en estado fresco, la demanda de agua, la compacidad y la resistencia mecánica del concreto en estado endurecido. Los límites granulométricos que recomienda la NTP 400.037 para el agregado fino se muestra en la tabla 2.5 y para el agregado grueso en la tabla 2.8, resultados del análisis granulométrico de los agregados se presentan en los tablas 2.6 y 2.7, las curvas granulométricas de los agregados se encuentran en las figuras 2.1 y 2.2, todos obtenidos según la NTP 400.012.

TABLA 2.5 Límites granulométricos para el agregado fino
Norma NTP 400.037.

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
3/8" (9.51 mm)	100
N° 4 (4.75 mm)	95 a 100
N° 8 (2.38 mm)	80 a 100
N° 16 (1.19 mm)	50 a 85
N° 30 (0.595 mm)	25 a 60
N° 50 (0.297 mm)	5 a 30
N° 100 (0.148 mm)	0 a 10

TABLA 2.6 Granulometría del agregado fino usado.

MALLA	PESO RETENIDO (g)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	15.00	13.30	15.50	14.60	1.21	1.21	98.79
N° 8	127.90	120.80	122.00	123.57	10.28	11.50	88.50
N° 16	289.90	281.50	264.40	278.60	23.18	34.68	65.32
N° 30	327.30	300.00	290.70	306.00	25.46	60.14	39.86
N° 50	267.20	242.50	239.10	249.60	20.77	80.90	19.10
N° 100	154.60	147.30	141.50	147.80	12.30	93.20	6.80
FONDO	84.80	84.00	76.30	81.70	6.80	100.00	0.00
TOTAL	1266.70	1189.40	1149.50	1201.87	100.00		

TABLA 2.7 Granulometría del agregado grueso usado.

MALLA	PESO RETENIDO (g)				RET. PROM. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
	M-1	M-2	M-3	Prom.			
1"	800.50	928.00	559.00	762.50	7.23	7.23	92.77
3/4"	7692.50	7467.50	7571.00	7577.00	71.85	79.08	20.92
1/2"	2234.00	1945.50	2276.00	2151.83	20.41	99.49	0.51
3/8"	18.00	20.00	16.00	18.00	0.17	99.66	0.34
1/4"	13.50	9.00	7.00	9.83	0.09	99.75	0.25
N° 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.75	0.25
FONDO	24.50	22.50	31.00	26.00	0.25	100.00	0.00
TOTAL	10783.00	10392.50	10460.00	10545.17	100.00		

TABLA 2.8 Límites granulométricos del agregado grueso correspondiente al Huso 5 (NTP 400.037).

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
1 1/2" (37.5 mm)	100
1" (25.0 mm)	90-100
3/4" (19.0 mm)	20-55
1/2" (12.5 mm)	0-10
3/8" (9.51 mm)	0- 5

f) Módulo de finura de los agregados

El módulo de finura para el agregado fino se calcula a partir de la tabla 2.9, teniendo un valor de 2.82 y el módulo de finura para el agregado grueso es calculado a partir de la tabla 2.10, su valor es de 7.77.

TABLA 2.9 Cálculo del módulo de finura del agregado fino.

MALLA	PESO RET. (g)	RET. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	14.60	1.21	1.21	98.79
N° 8	123.57	10.28	11.50	88.50
N° 16	278.60	23.18	34.68	65.32
N° 30	306.00	25.46	60.14	39.86
N° 50	249.60	20.77	80.90	19.10
N° 100	147.80	12.30	93.20	6.80
FONDO	81.70	6.80	100.00	0.00
TOTAL	1201.87			

Módulo de Finura (MF):

$$MF = \frac{1.21 + 11.50 + 34.68 + 60.14 + 80.90 + 93.20}{100}$$

$$MF = 2.82$$

TABLA 2.10 Cálculo del módulo de finura del agregado grueso.

MALLA	PESO RET. (g)	RET. (%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
1"	762.50	7.23	7.23	92.77
3/4"	7577.00	71.85	79.08	20.92
1/2"	2151.83	20.41	99.49	0.51
3/8"	18.00	0.17	99.66	0.34
1/4"	9.83	0.09	99.75	0.25
N° 4	0.00	0.00	99.75	0.25
FONDO	26.00	0.25	100.00	0.00
TOTAL	10545.17			

Módulo de Finura (MF):

$$MF = \frac{79.08 + 99.66 + 99.75 * 6}{100}$$

$$MF = 7.77$$

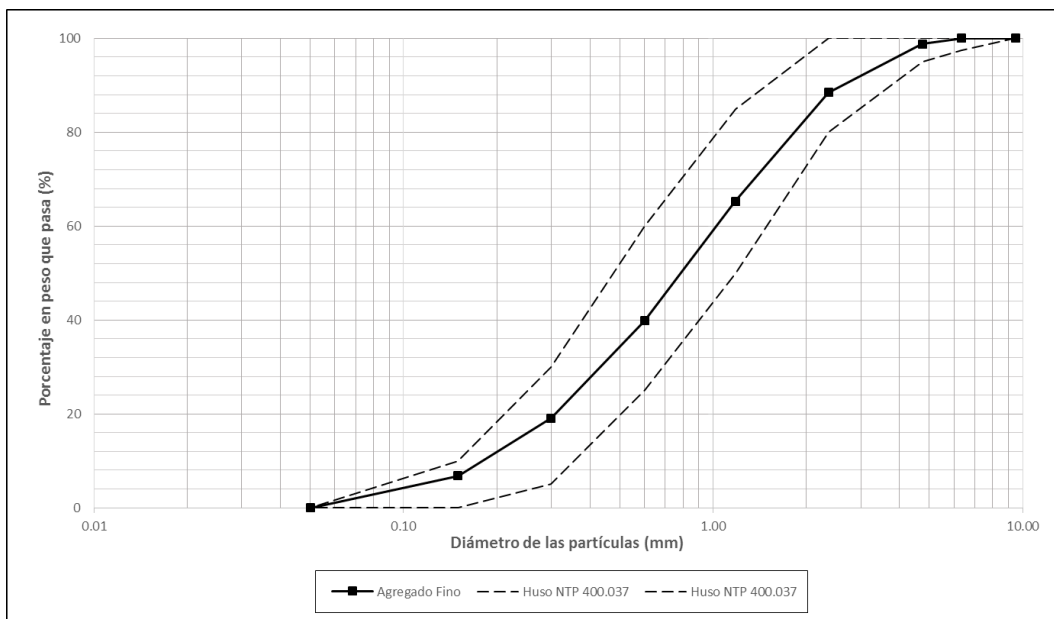


FIGURA 2.1 Curva granulométrica del agregado fino.

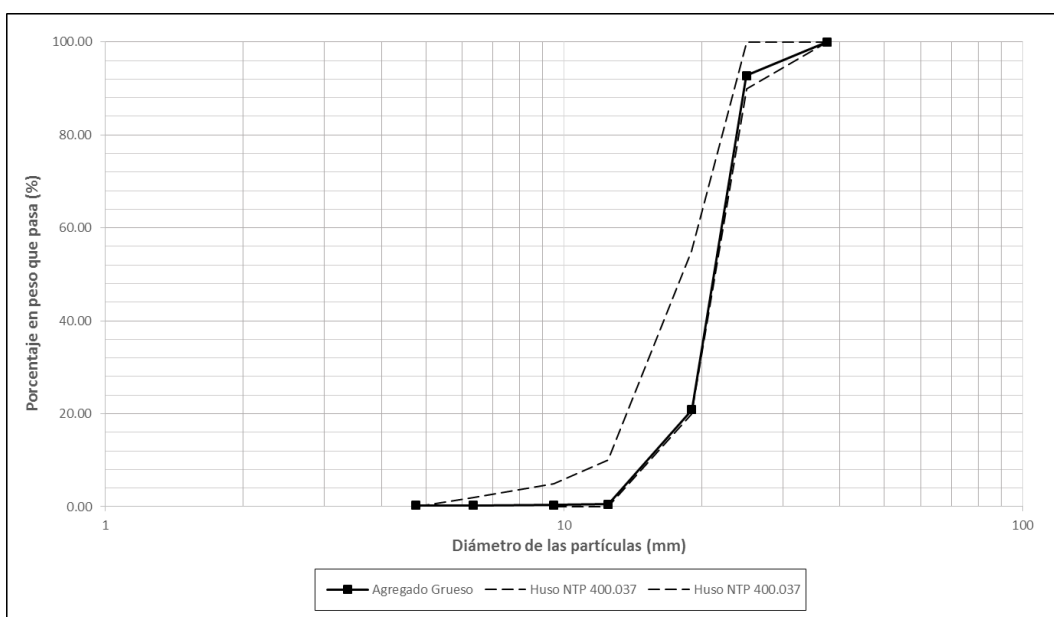


FIGURA 2.2 Curva granulométrica del agregado grueso huso 5.

g) Materiales más finos que pasan la malla N°200

El material muy fino, constituido por arcilla y limo, se presenta recubriendo al agregado grueso, o mezclado con la arena. En el primer caso, afecta la adherencia del agregado y la pasta; en el segundo, incrementa los requerimientos de agua para la mezcla. En principio, un moderado porcentaje de finos menores a 75 µm puede favorecer la trabajabilidad, pero su incremento afecta la resistencia a la compresión del concreto. El agregado fino usado presenta un 4.9 % de finos que pasan la malla N°200 y el agregado grueso un 0.5 %, indicados en tabla 2.11, los cuales fueron determinados según la NTP 400.018.

TABLA 2.11 Resumen de las propiedades de los agregados.

DESCRIPCIÓN	A. FINO	A. GRUESO	Unidad
Cantera	Trapiche	Unicon	
Absorción	0.47	0.59	%
Peso Específico	2.67	2.73	g/cm ³
Peso Específico S.S.S	2.68	2.74	g/cm ³
Peso Unitario Suelto	1636	1405	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1833	1606	Kg/m ³
Módulo de Finura	2.82	7.77	
Finos que pasan la malla N°200	4.9	0.5	%
Tamaño Máximo	---	1 1/2	Pulg.
Tamaño Máximo Nominal	---	1	Pulg.

2.2 Cemento

2.2.1 Cemento usado

El cemento usado fue el Cemento Portland Tipo I Sol, en presentación de bolsas de 42.5 kg, de la Fábrica de Cementos Lima. Cumple con los requisitos de la NTP 334.009 y ASTM C 150.

2.3 Agua

2.3.1 Agua utilizada

El agua utilizada, fue agua potable, obtenida de la red de distribución de agua potable del LEM-UNI, lugar en la cual se ha desarrollado la investigación. Cumple con los requisitos de la Norma NTP 339.227.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Preparación del Concreto

3.1.1 Diseño del concreto patrón

Para el diseño del concreto patrón se ha seguido la metodología del ensayo de máxima compactación del agregado global y así cumplir con las condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Luego de aplicarse la metodología descrita, se obtuvo la relación resultante de $AF/AG = 51.7 / 48.3$, que se ha mantenido constante para las 3 relaciones a/c desarrolladas para un concreto convencional.

a) Ensayo de máxima compactación

Esta metodología empírica ayuda a obtener las cantidades de agregado fino y grueso que dan el mejor acomodamiento, así como también la menor cantidad de vacíos en el concreto. A continuación se procederá a describir de forma resumida la metodología descrita.

Primero se combinan diferentes porcentajes de arena y piedra para luego determinar su peso unitario compactado, la gráfica de las relaciones AF:AG versus peso unitario compactado determinan la relación AF:AG que resultará el peso unitario compactado máximo, estos valores de P.U.C se muestran en la tabla 3.1 y su grafica respectiva en la figura 3.1. Realizado el ensayo se ha determinado $AF/AG = 52.0/48.0$.

TABLA 3.1 Valores del P. U. C. de la combinación de los agregados.

Agregado Fino (%)	Agregado Grueso (%)	P.U.C. (gr/cm ³)
47	53	2.096
50	50	2.098
53	47	2.099
56	44	2.079

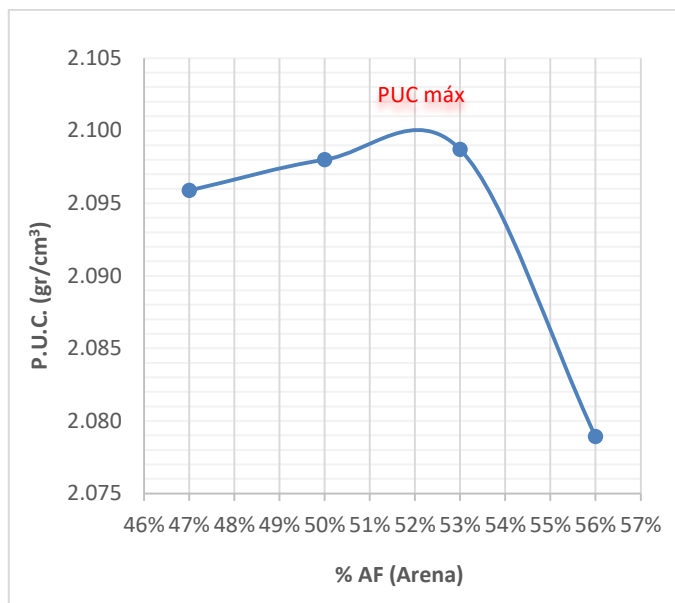


FIGURA 3.1 Valores de P.U.C vs. Porcentaje de AF.

Luego se determinó la cantidad de agua óptima para la mezcla, denominada “agua patrón”, para obtener un concreto con un valor de Slump entre 3” y 4” y con ello garantizar una óptima trabajabilidad. Para ello se ha variado la cantidad de agua manteniendo constante la relación agua- cemento (a/c). Para la relación $a/c=0.65$, se ha obtenido una agua patrón= 233.48 litros, los valores de agua y slump se muestran en la tabla 3.2 y la correspondiente gráfica en la figura 3.2.

TABLA 3.2 Resultados de agua y slump para $a/c=0.65$.

Agua (lt.)	Slump (pulg.)
220.00	1.77
230.00	3.27
240.00	5.59

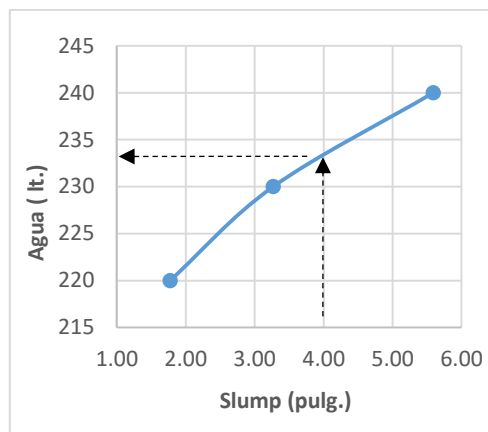


FIGURA 3.2 Variaciones de agua vs. Slump para $a/c=0.65$.

Seguidamente se determinó la mejor combinación de agregados para obtener la máxima resistencia a la compresión, para ello se procedió a variar el porcentaje de los agregados en un $\pm 3\%$ de la relación AF/ AG con mayor P.U.C. obtenido.

En la tabla 3.3, se presenta los valores de **AF/ AG (%)** vs. la resistencia a compresión a la edad de 7 días (kg/cm^2) así como su respectiva gráfica, en la figura 3.3. Mediante la superposición de las gráficas del P.U.C. y $f'c$ se ha determinado el valor de la relación definitiva de **AF/ AG = 51.7 / 48.3** (Agregados Patrón). Ver figura 3.4. Dicha relación de agregados patrón ha sido determinada para la relación de $a/c=0.65$ y se ha optado por mantener constante para las 2 relaciones restantes de $a/c=0.60$ y 0.70 .

TABLA 3.3 Porcentajes de AF/ AG vs. Resistencia a los 7 días.

Agregado Fino (%)	Agregado Grueso (%)	F'c (Kg/cm^2)
49	51	238.43
52	48	241.03
55	45	233.98

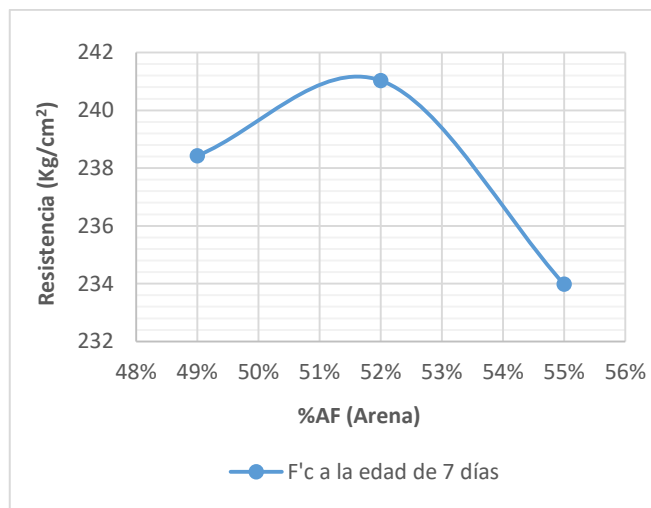


FIGURA 3.3 Porcentajes de Arena vs. Resistencia a compresión.

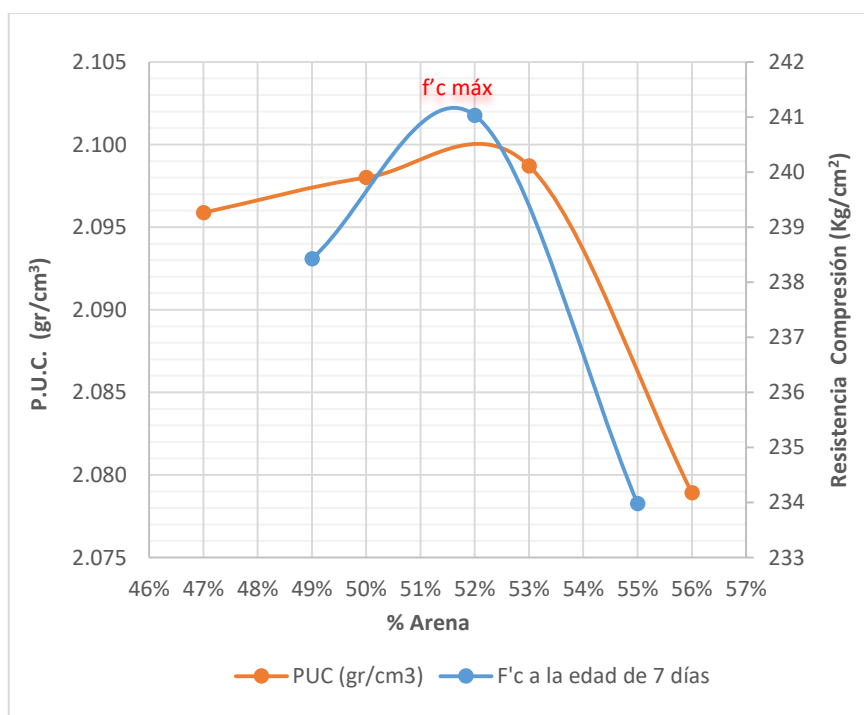


FIGURA 3.4 Superposición entre valores de P.U.C. y resistencia a compresión.

Seguidamente con esta relación definitiva de agregados patrón, se ha calculado los valores del agua patrón para las relaciones de $a/c= 0.60$ y 0.70 , resultando finalmente los siguientes valores de agua patrón: Para la relación $a/c=0.65$, se ha mantenido el valor obtenido de 233.48 litros; para la relación $a/c= 0.60$ y $a/c=0.70$, se han obtenido 230.75 litros y 230.45 litros, respectivamente.

Finalmente se procedió al cálculo del diseño del concreto patrón, con los parámetros antes determinados para las tres relaciones a/c estudiados, un resumen de los diseños finales se presentan en la tabla 3.4.

TABLA 3.4 Diseño del concreto Patrón para las diferentes relaciones a/c.

a/c	Materiales	P. S. (kg)	Vol. A (m ³)	P.U.S.	P.H (kg/ m ³)	P.U.H.	Tanda Lab (42 Kg)
0.60	Cemento	384.58	0.1221	1.0000	384.58	1.0000	6.93
	Agua	230.75	0.2308	0.6000	227.10	0.5905	4.09
	Arena	872.63	0.3268	2.2690	881.88	2.2931	15.89
	Piedra	833.56	0.3053	2.1674	836.98	2.1763	15.08
0.65	Cemento	359.20	0.1140	1.0000	359.20	1.0000	6.50
	Agua	233.48	0.2335	0.6500	229.81	0.6398	4.16
	Arena	879.98	0.3296	2.4498	889.22	2.4756	16.08
	Piedra	840.59	0.3079	2.3402	844.12	2.3500	15.26
0.70	Cemento	329.21	0.1045	1.0000	329.21	1.0000	5.95
	Agua	230.45	0.2305	0.7000	226.70	0.6886	4.10
	Arena	897.31	0.3361	2.7256	906.82	2.7545	16.39
	Piedra	857.13	0.3140	2.6036	860.65	2.6142	15.56

3.2 Propiedades del Concreto en Estado Fresco

Para evaluar las propiedades del concreto en estado fresco se muestra a continuación la tabla 3.5 donde se explica la codificación de las diferentes mezclas preparadas (relaciones a/c= 0.60, 0.65 y 0.70).

TABLA 3.5 Codificación de las mezclas preparadas.

MEZCLA	INTERPRETACIÓN
CPO- 0.60	Concreto patrón de a/c=0.60
CPO- 0.65	Concreto patrón de a/c=0.65
CPO- 0.70	Concreto patrón de a/c=0.70

3.2.1. Consistencia

Se determinó el asentamiento de las mezclas de concreto según la Norma NTP 339.045 - ASTM C 143-08. Los valores de consistencia de las mezclas de concreto se muestran en la tabla 3.6 y figura 3.5.

TABLA 3.6 Valores de consistencia.

MEZCLA	Asent. (cm.)	Asent. (pulg.)
CPO-0.60	8.3	3 1/4
CPO-0.65	10.2	4
CPO-0.70	10.5	4.1/3

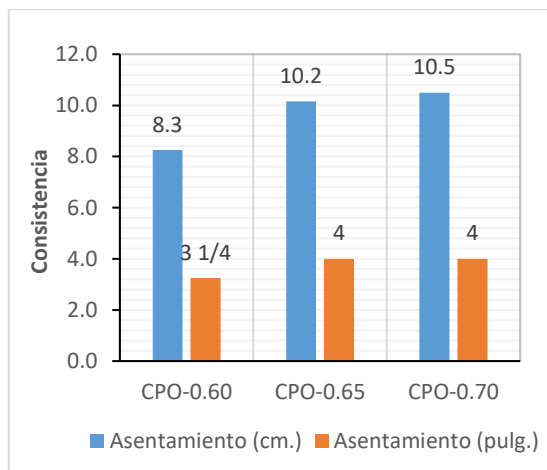


FIGURA 3.5 Asentamiento de las mezclas de concreto.

3.2.2. Peso unitario

Se determinó el peso unitario de las mezclas de concreto según la Norma NTP 339.046 - ASTM C 138-08. Los valores del peso unitario para los diferentes tipos de mezcla se encuentran en la tabla 3.7 y la figura 3.6.

TABLA 3.7 Valores de peso unitario para el concreto fresco.

MEZCLA	PESO UNITARIO (kg/m ³)
CPO-0.60	2313.78
CPO-0.65	2325.09
CPO-0.70	2313.07

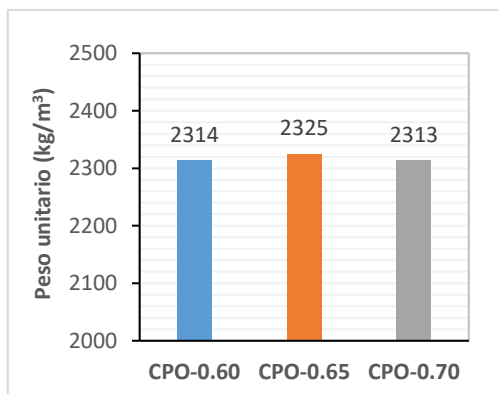


FIGURA 3.6 Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto.

3.2.3. Contenido de aire

Se determinó el contenido de aire de las mezclas de concreto según la Norma NTP 339.083 - ASTM C 231-08. Los valores del contenido de aire para los diferentes tipos de mezcla se encuentran en la tabla 3.8 y la figura 3.7.

TABLA 3.8 Porcentaje contenido de aire.

MEZCLA	% AIRE
CPO-0.60	2.10
CPO-0.65	1.60
CPO-0.70	1.75

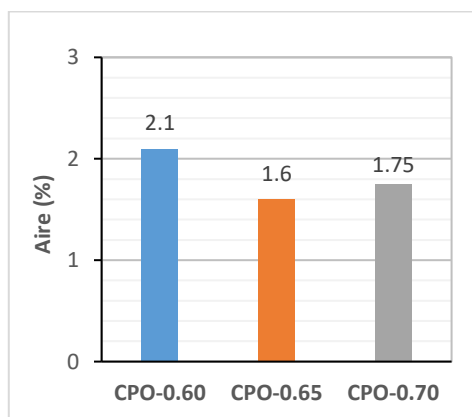


FIGURA 3.7 Contenido de aire para cada mezcla de concreto.

3.3 Proceso de Quemado de Muestras

Para la presente investigación se elaboraron un total de 360 muestras de 4"x8" y 24 muestras de 6"x12", equivalentemente a 120 probetas de 4"x8" y 8 probetas de 6"x12", para cada relación a/c estudiada. Para cada relación a/c se han separado las muestras de la siguiente manera: 60 muestras de 4"x8" para el ensayo a compresión, 60 muestras de 4"x8" para el ensayo a tracción y 8 muestras de 6"x12" para el ensayo de elasticidad. Del grupo de 60 muestras destinadas para el ensayo a compresión se separaron en 4 grupos de 15 muestras, siendo un grupo de muestras patrón (muestras que no se han quemado), y los otros 3 grupos restantes muestras que se sometieron a 1,2 y 3 horas de exposición. Análogamente se ha distribuido las muestras destinadas para el ensayo a tracción. Del grupo de 08 muestras destinadas para el ensayo a del módulo de elasticidad se separaron en 4 grupos de 02 muestras, siendo un grupo de muestras patrón (muestras que no se han quemado), y los otros 3 grupos restantes muestras que se sometieron a 1,2 y 3 horas de exposición. Cada grupo de 15 muestras de 4"x8" o cada grupo de 02 muestras de 6"x12" antes descrito representaba una tanda de prueba. Como se puede notar existían 2 tipos de tanda de pruebas, el primero, tandas de prueba patrón (que no se quemaban) y tandas de prueba destinadas para el quemado.

Las muestras de cada tanda de prueba se extrajeron del proceso de curado a la edad de 42 días, una vez extraídos se dejaron de 2 a 3 horas libre en el medio ambiente para que pierdan su humedad superficial, quedando así muestras superficialmente secas. Para las tandas de prueba patrón se registraba la masa y temperatura de las muestras, para luego ser llevados al laboratorio para evaluar su resistencia a compresión, tracción y módulo de elasticidad. Para las tandas de prueba destinados para el quemado, el proceso se desarrolló de la siguiente manera: registro de masa y temperatura de las muestras Pre-proceso de quemado (figura 3.8 [a]), quemado de muestras con monitoreo permanente de la temperatura (figura 3.8 [b], [c], [d]), registro de masa y temperatura de las muestras Post-proceso de quemado (figura 3.8 [e], [f]).

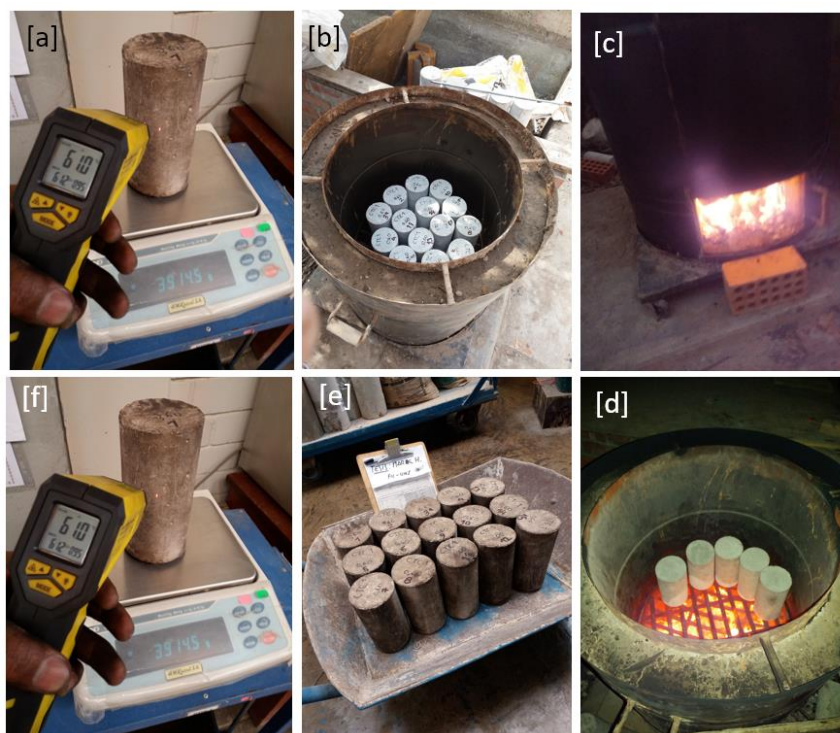


FIGURA 3.8 Proceso de quemado de muestras de tanda de prueba, (a) registro inicial de masa y temperatura de las muestras, (b) (c) (d) quemado de muestras con monitoreo permanente de la temperatura, (e) (f) registro final de masa y temperatura de las muestras.

El control y monitoreo de la temperatura se ha realizado con el termómetro Laser-Infrarrojo Digital Profesional de alta precisión TP7. Se han tomado lecturas de temperaturas cada 10,20 y 30 min de intervalo de tiempo, para poder evaluar la evolución de la temperatura promedio en todos los ensayos. Para el presente estudio se ha registrado la temperatura en la zona superior de las probetas P01 (zona no expuesta al fuego directo) de cada tanda de prueba, ver figura 3.9. También se ha logrado registrar la temperatura en la zona inferior de la probeta (P02), zona expuesta a la incidencia del fuego directo, ver figura 3.9. Los procesos de quemado se han llevado a cabo por lo general en las noches para minimizar el impacto en las personas cercanas.

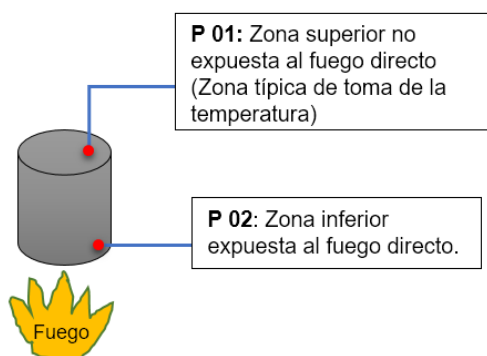


FIGURA 3.9 Zonas de lectura de la temperatura P01 y p02.

3.3.1 El combustible

Se ha utilizado como combustible madera reciclada de construcción, tratando de minimizar el impacto ambiental durante la presente investigación debido a que en un inicio se pensaba usar otro tipo de combustible como el petróleo o carbón mineral. En cierta forma se ha aprovechado la madera reciclada (figura 3.10 [b]) como materia prima para hacer realidad la investigación, en la figura 3.10 [a], se muestra el botadero del laboratorio LEM-UNI, del cual se ha obtenido la madera para el combustible.



FIGURA 3.10 El combustible, (a) madera del botadero LEM-UNI, (b) madera reciclada.

3.3.2 El horno

Para realizar el quemado de las muestras, se utilizó un horno diseñado especialmente para esta investigación. El horno tiene forma cilíndrica tanto internamente como externa, ya que está construido en base de dos cilindros concéntricos de diámetros externo e interno de 0.85m y 0.58m, respectivamente (Figura 3.11 [a]). A su vez estos dos cilindros están unidos a una plataforma metálica cuadrada (1.2mx1.2m) diseñada para soportar el peso del horno, servir como base y también darle movilidad por medio de 4 ruedas colocadas en los vértices de la plataforma. La pared aislante del horno está básicamente formada por una mezcla de tierra, paja y agua, comúnmente conocido como barro y reforzado por la paja, para controlar la dilatación y contracción (Figura 3.11 [b]).

El horno posee una parrilla circular desmontable, que sirve principalmente para soportar las muestras de concreto para ser quemados (Figura 3.11 [c]). Está formado por aceros de construcción de diámetro de 5/8" soldados a un anillo metálico que sirve de soporte. Además se le ha provisto de una tapa metálica con una chimenea, asimismo posee una compuerta rectangular deslizable en la parte inferior del horno, para poder suministrar el combustible, permitir el ingreso del aire y hacer la limpieza respectiva del mismo (Figura 3.11 [a]).



FIGURA 3.11 Horno utilizado (a) Horno acabado final, (b) estructura del horno, (c) parrilla de soporte de muestras.

3.3.3 El Termómetro Laser-Infrarrojo digital

El termómetro utilizado fue el pirómetro modelo TP7 de la empresa alemana TROTEC. El pirómetro TP7 mide la temperatura de superficies sin contacto por medio de un sensor infrarrojo, ver Figura 3.12 [a]. El aparato tiene integrado un puntero láser dual conectable para determinar el diámetro del área de medición. El grado de emisión del material que se desea medir se puede configurar libremente. Asimismo, el aparato tiene la función de alarma. Si se superan o no se alcanzan los valores determinados, el aparato emite una señal acústica. Si se desea se puede iluminar la pantalla, característica muy útil para nuestra investigación ya que comúnmente se ha tomado lecturas en turno noche (Figura 3.12 [b]). Tiene un rango de medición que va desde los -50°C a los 1000°C (-58°F a 1832°F), un peso aproximado de 180 gramos y de dimensiones de 152mm x 120mm x 48mm de alto, ancho y largo respectivamente. Utiliza una pila de 9v (voltios) como fuente de alimentación y posee un tiempo de respuesta menor a 150ms (milisegundos). La medición de temperatura depende del grado de emisión del material a medir, para nuestro caso se trata del material concreto y según la tabla recomendada por el fabricante se ha tomado un valor de 0.95, valor que se ha configurado en el pirómetro. Otra característica positiva es el apagado automático del aparato para proteger la pila a largo plazo. La hoja técnica del pirómetro se adjunta en la parte final de los anexos.



FIGURA 3.12 Termómetro IR digital (a) pirómetro TP7, (b) lectura de temperatura de muestra cilíndrica.

3.4 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

Para evaluar las propiedades del concreto en estado endurecido, tanto para las muestras patrón (sin exposición al fuego directo), así como también para las muestras que han sido sometidas al fuego directo en diferentes tiempos, se muestra a continuación la tabla 3.9 en el cual se detalla la codificación de las muestras de las diferentes mezclas elaboradas.

Todos los ensayos para determinar las propiedades del concreto en estado endurecido se han realizado a la edad de 42 días, se ha escogido esta edad debido básicamente a que la edad de 28 días es muy temprana para el presente estudio y es muy poco probable que ocurra un evento de incendio a dicha edad. Delgado Poma C. W. [5], en su tesis ha considerado una edad de 40 días para realizar sus estudios, ello ha influido en la decisión de optar una edad cercana a esta para poder realizar alguna comparación futura.

TABLA 3.9 Codificación de las muestras de concreto en estado endurecido.

Relación a/c	CÓDIGO	INTERPRETACIÓN
a/c=0.60	CPO- 0.60	Muestra Patrón (sin exposición al fuego)
	CPO1- 1	Muestra de 1 hora de exposición al fuego
	CPO1- 2	Muestra de 2 horas de exposición al fuego
	CPO1- 3	Muestra de 3 horas de exposición al fuego
a/c=0.65	CPO- 0.65	Muestra Patrón (sin exposición al fuego)
	CPO2- 1	Muestra de 1 hora de exposición al fuego
	CPO2- 2	Muestra de 2 horas de exposición al fuego
	CPO2- 3	Muestra de 3 horas de exposición al fuego
a/c=0.70	CPO- 0.70	Muestra Patrón (sin exposición al fuego)
	CPO3- 1	Muestra de 1 hora de exposición al fuego
	CPO3- 2	Muestra de 2 horas de exposición al fuego
	CPO3- 3	Muestra de 3 horas de exposición al fuego

3.4.1. Resistencia a la compresión

Los ensayos a compresión fueron realizados según la NTP 339.034, se realizaron en especímenes cilíndricos de 4x8 pulgadas (100x200 mm) y se ensayaron a la edad de 42 días. Para los ensayos se usaron pads de neopreno. Los resultados de los ensayos a compresión se muestran en la tabla 3.10. Los

valores de resistencia a compresión de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.13.

TABLA 3.10 Valores de resistencia a la compresión.

CÓDIGO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)
CPO- 0.60	358.3
CPO1- 1	284.7
CPO1- 2	243.4
CPO1- 3	102.1
CPO- 0.65	314.3
CPO2- 1	156.7
CPO2- 2	65.7
CPO2- 3	50.6
CPO- 0.70	257.3
CPO3- 1	120.0
CPO3- 2	71.3
CPO3- 3	44.9

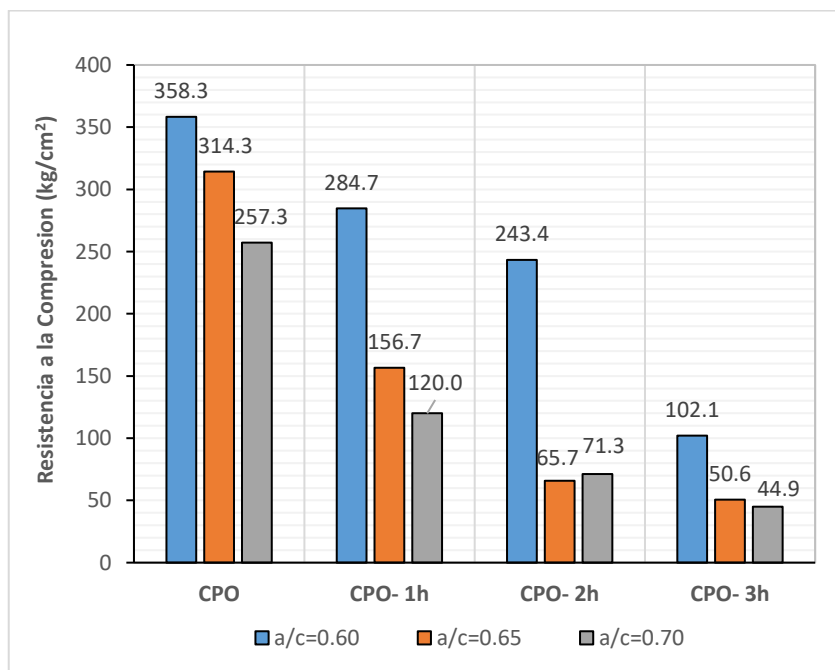


FIGURA 3.13 Valores de resistencia a la compresión de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

3.4.2. Resistencia a la Tracción por compresión diametral

La resistencia a la tracción se midió indirectamente a través de la compresión diametral de especímenes cilíndricos de 4x8 pulgadas y fueron ensayados a los 42 días de edad, según la NTP 339.084. Los valores de resistencia a la tracción (T) en kg/cm² se muestran en la tabla 3.11 y en la figura 3.14.

TABLA 3.11 Valores de tracción por compresión diametral.

CÓDIGO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)
CPO- 0.60	42.1
CPO1- 1	32.0
CPO1- 2	24.6
CPO1- 3	16.6
CPO- 0.65	39.4
CPO2- 1	30.8
CPO2- 2	17.2
CPO2- 3	11.6
CPO- 0.70	34.0
CPO3- 1	23.6
CPO3- 2	13.1
CPO3- 3	7.7

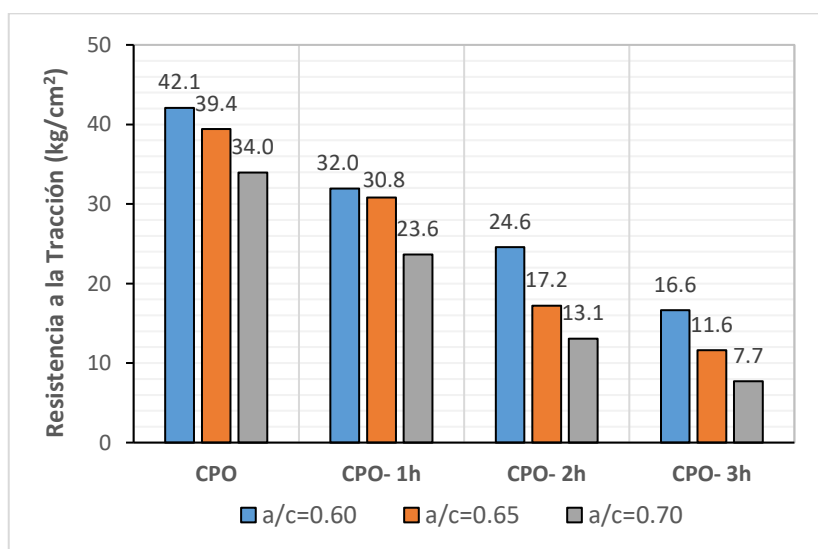


FIGURA 3.14 Valores de resistencia a la tracción de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

3.4.3. Módulo Elástico

El módulo elástico fue determinado a la edad de 42 días, el ensayo fue realizado según la Norma ASTM C 469-02 en especímenes cilíndricos de 6"x12". Los ensayos fueron realizados para las muestras patrón así como también para las muestras sometidas al fuego directo. Los resultados de los ensayos de Módulo Elástico se muestran en la tabla 3.12, los valores del módulo de elasticidad de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.15.

Adicionalmente se adjunta en los anexos las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de las muestras sometidas al fuego a los diferentes tiempos de exposición y poder notar la variación del comportamiento lineal del concreto.

TABLA 3.12 Valores del módulo de elasticidad.

CÓDIGO	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
CPO- 0.60	186887
CPO1- 1	80886
CPO1- 2	21538
CPO1- 3	4967
CPO- 0.65	168406
CPO2- 1	24933
CPO2- 2	6108
CPO2- 3	4617
CPO- 0.70	145736
CPO3- 1	49538
CPO3- 2	8632
CPO3- 3	1490

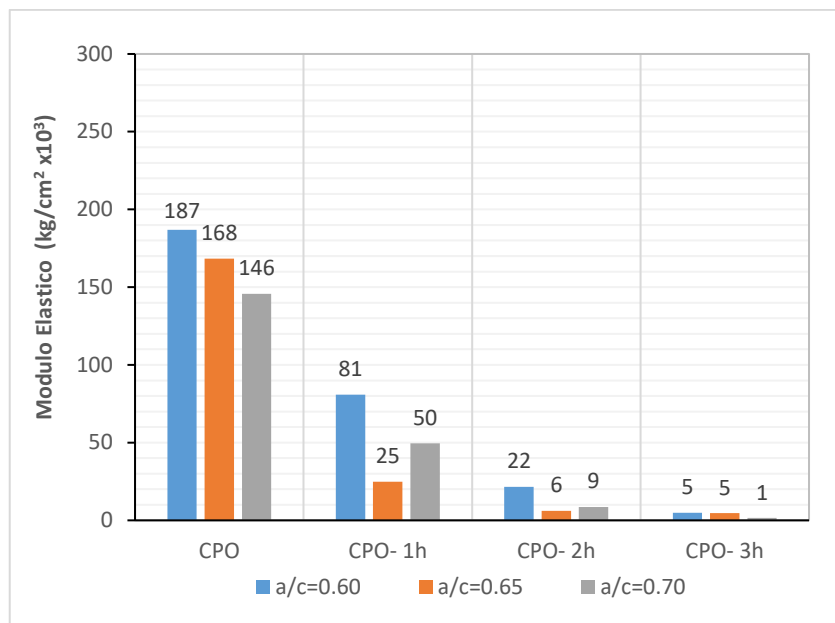


FIGURA 3.15 Valores del módulo de elasticidad de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

3.5 Cuadros y Gráficos de Resultados

3.5.1 Resultados de Resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión para las diferentes relaciones a/c se muestran en la tabla 3.13 y las figuras 3.16 a la 3.23. La pérdida de la resistencia a la compresión para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.16 y 3.17. La pérdida de la resistencia a la compresión (%) de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.16, la pérdida de la resistencia a la compresión (%) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.17. Valores de resistencia a la compresión (kg/cm²) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.18.

Las temperaturas promedio alcanzadas para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.19 y 3.20. Las temperaturas promedio alcanzadas en todas para las muestras CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.19 y las temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.20. Las temperaturas que se indican en la

tabla 3.13 fueron registradas en la superficie no expuesta al fuego directo P01 (ver figura 3.9).

Las pérdidas de masa (%) para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.21 y 3.22. La pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.21, la pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.22. Valores de las pérdidas de masa (gr.) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.23.

TABLA 3.13 Resultados de los ensayos de compresión.

	CÓDIGO	f'c (kg/cm ²)	Pérdida f'c (%)	Temp. (P01) °C	Pérdida masa (gr.)	Pérdida masa (%)
a/c= 0.60	CPO- 0.60	358.3	-	28	-	-
	CPO1- 1	284.7	20.6	254	215.0	5.4
	CPO1- 2	243.4	32.1	324	284.0	7.1
	CPO1- 3	102.1	71.5	426	333.0	8.3
a/c= 0.65	CPO- 0.65	314.3	-	28	-	-
	CPO2- 1	156.7	50.1	309	334.2	8.5
	CPO2- 2	65.7	79.1	370	357.3	8.9
	CPO2- 3	50.6	83.9	437	416.8	10.4
a/c= 0.70	CPO- 0.70	257.3	-	28	-	-
	CPO3- 1	120.0	53.3	291	364.1	9.3
	CPO3- 2	71.3	72.3	373	408.5	10.4
	CPO3- 3	44.9	82.5	444	459.2	11.6

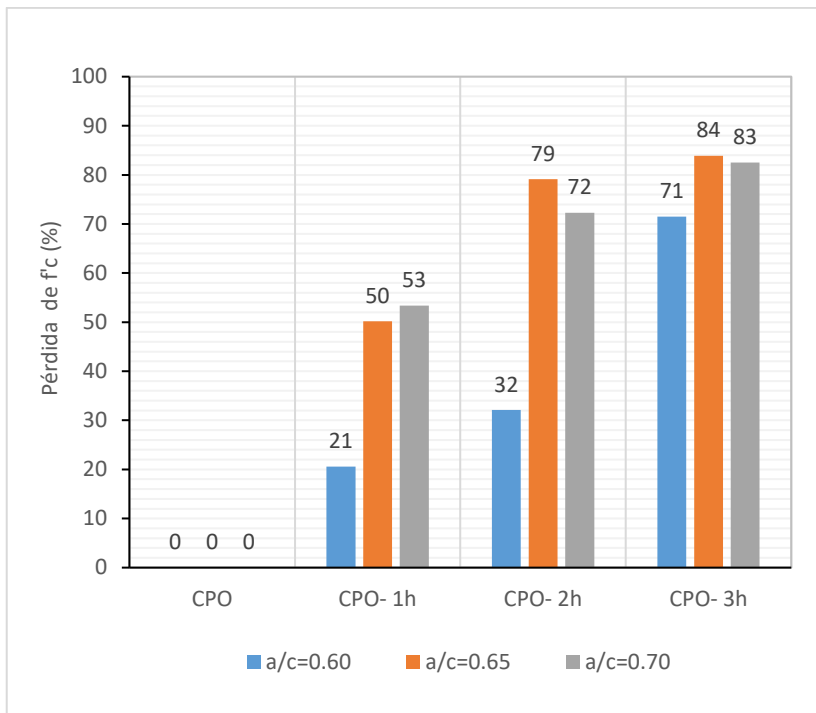


FIGURA 3.16 Pérdida de la resistencia a la compresión (%) de todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

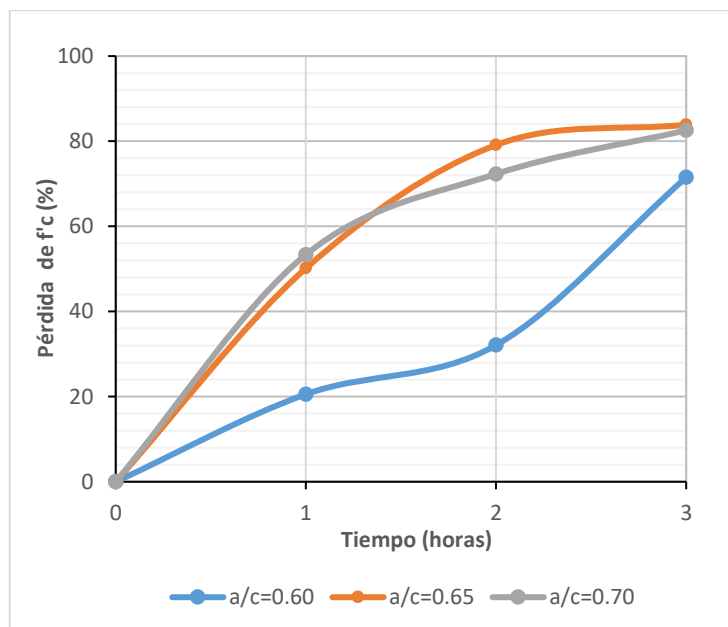


FIGURA 3.17 Pérdida de la resistencia a la compresión (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

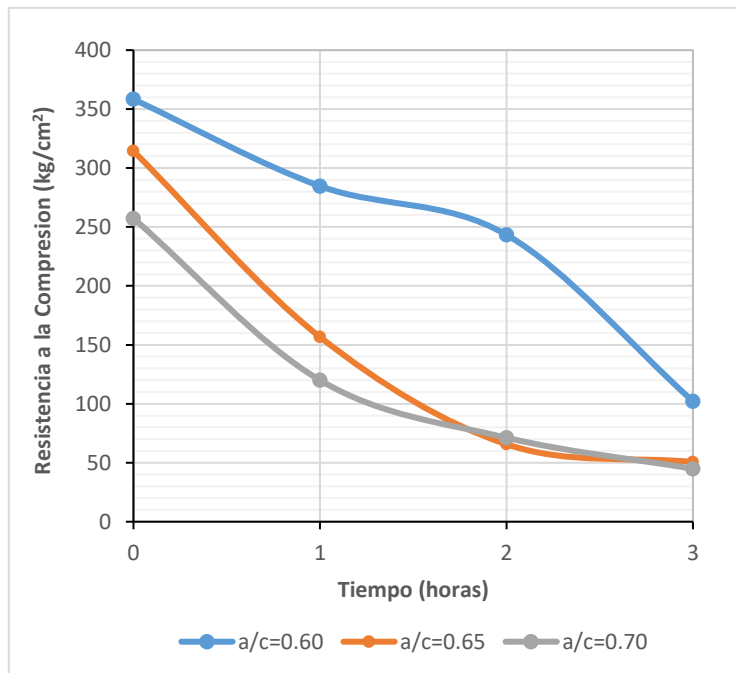


FIGURA 3.18 Resistencia a la compresión en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

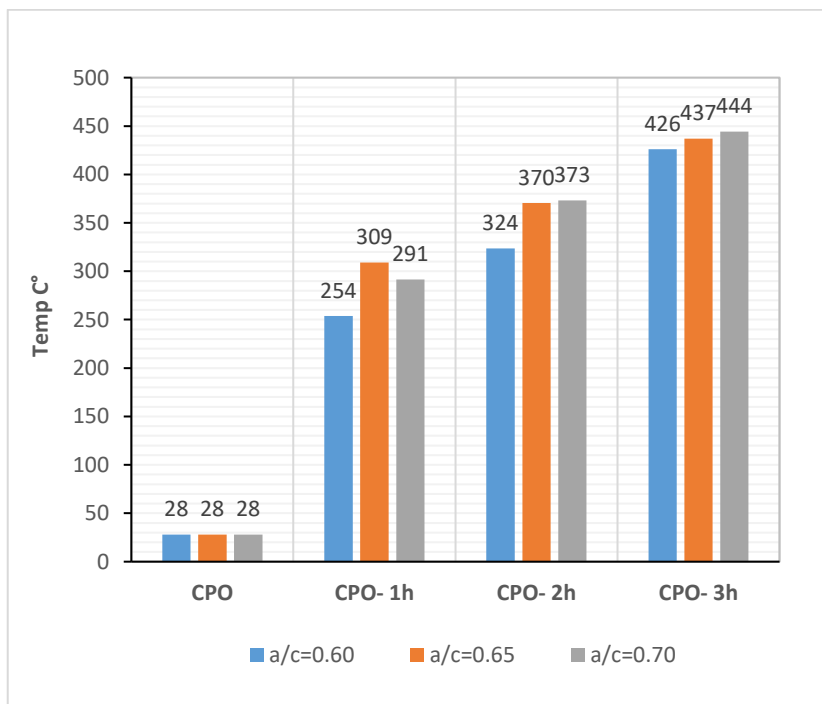


FIGURA 3.19 Temperaturas promedio alcanzadas en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

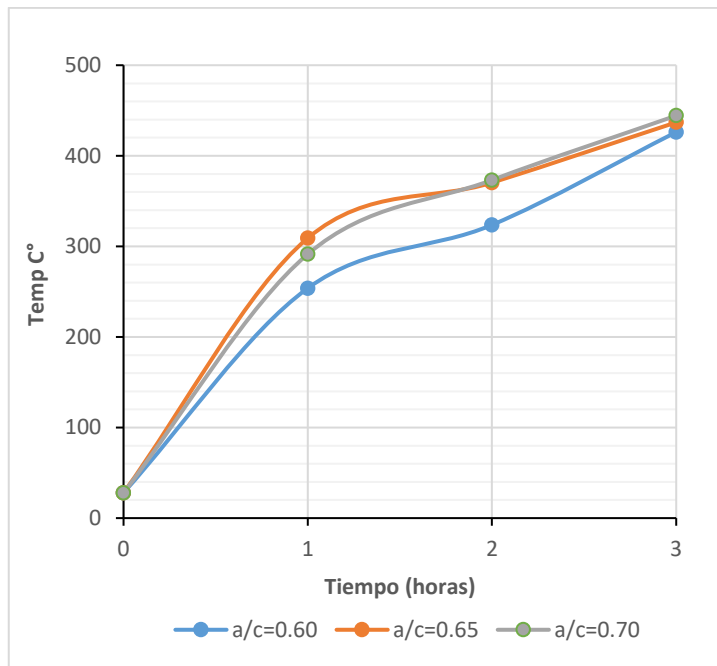


FIGURA 3.20 Temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

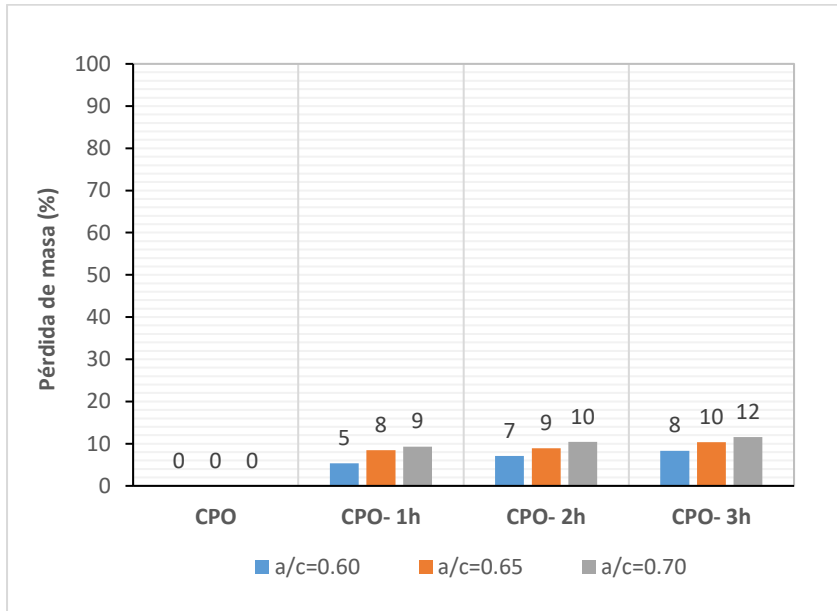


FIGURA 3.21 Pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón) , 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

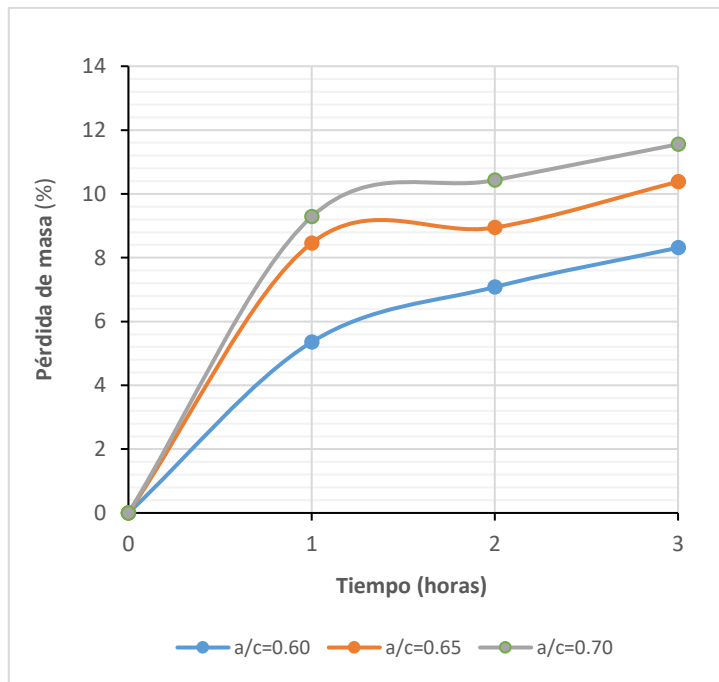


FIGURA 3.22 Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

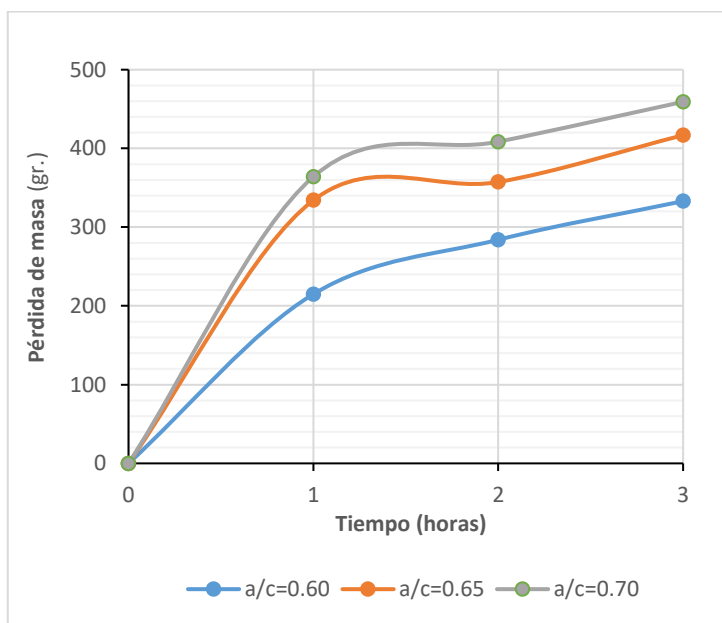


FIGURA 3.23 Pérdida de masa en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

3.5.2 Resultados de Resistencia a la Tracción

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la tracción para las diferentes relaciones a/c se muestran en la tabla 3.14 y las figuras 3.24 a la 3.31. La pérdida de la resistencia a la tracción para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.24 y 3.25. La pérdida de la resistencia a la tracción (%) de todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.24, la pérdida de la resistencia a la tracción (%) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.25. Valores de resistencia a la tracción (kg/cm^2) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.26.

TABLA 3.14 Resultados de los ensayos de tracción.

	CÓDIGO	T (kg/cm^2)	Pérdida T (%)	Temp. (P01) °C	Pérdida masa (gr.)	Pérdida masa (%)
a/c= 0.60	CPO- 0.60	42.1	-	28	-	-
	CPO1- 1	32.0	24.1	264	300.8	7.5
	CPO1- 2	24.6	41.6	367	345.7	8.5
	CPO1- 3	16.6	60.5	407	358.6	8.9
a/c= 0.65	CPO- 0.65	39.4	-	28	-	-
	CPO2- 1	30.8	21.8	263	322.4	8.0
	CPO2- 2	17.2	56.3	341	368.7	9.2
	CPO2- 3	11.6	70.5	452	411.7	10.2
a/c= 0.70	CPO- 0.70	34.0	-	28	-	-
	CPO3- 1	23.6	30.4	259	357.6	9.1
	CPO3- 2	13.1	61.5	356	426.8	11.0
	CPO3- 3	7.7	77.2	448	471.0	12.2

Las temperaturas promedio alcanzadas para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.27 y 3.28. Las temperaturas promedio alcanzadas para las muestras CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.27 y las temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.28. Las temperaturas que se indican en la tabla 3.14 fueron registradas en la superficie no expuesta al fuego directo P01 (ver figura 3.9).

Las pérdidas de masa (%) para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.29 y 3.30. La pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.29, la pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.30. Valores de las pérdidas de masa (gr.) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.31.

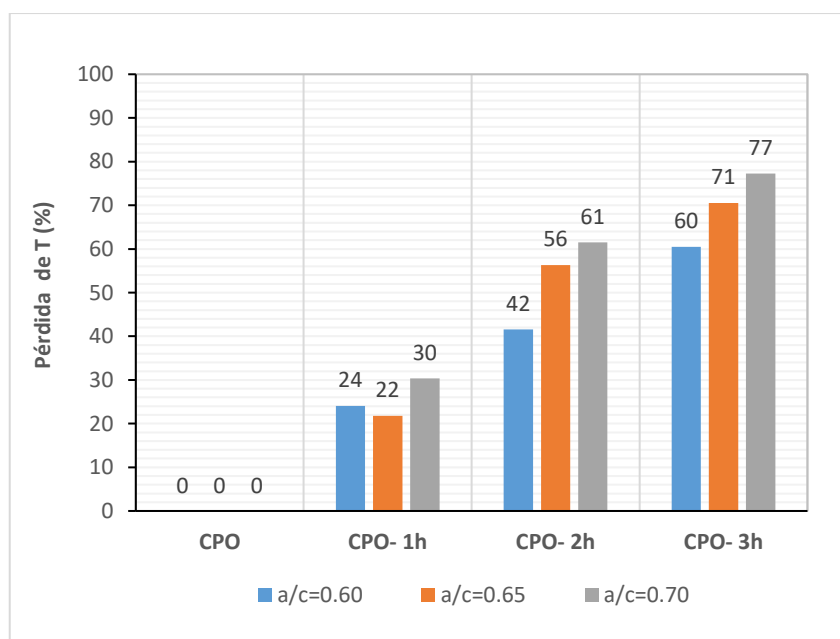


FIGURA 3.24 Pérdida de la resistencia a la tracción (%) de todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

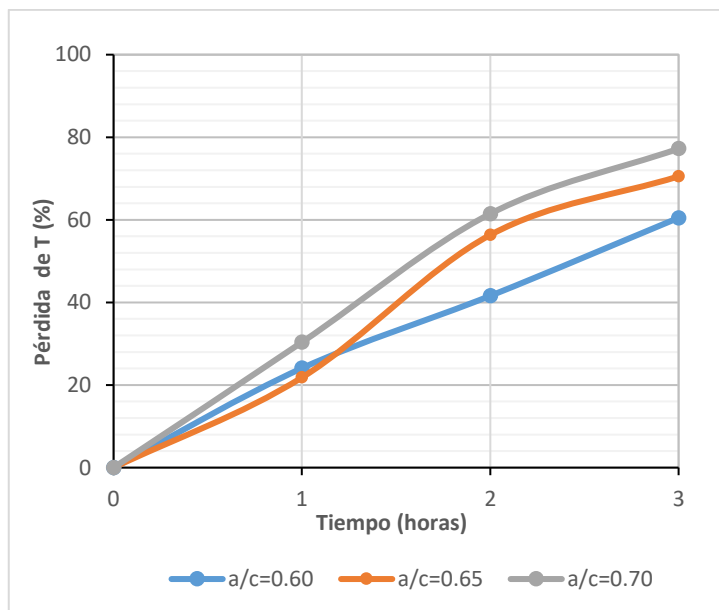


FIGURA 3.25 Pérdida de la resistencia a la tracción (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

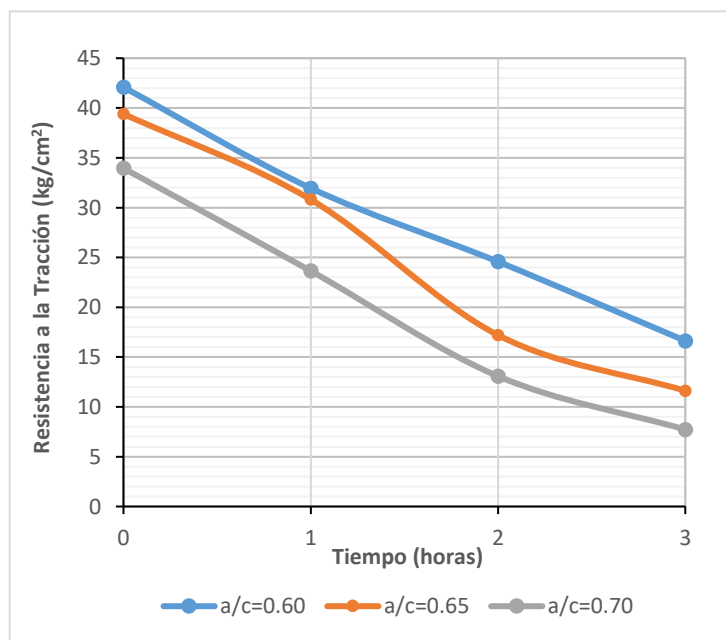


FIGURA 3.26 Resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

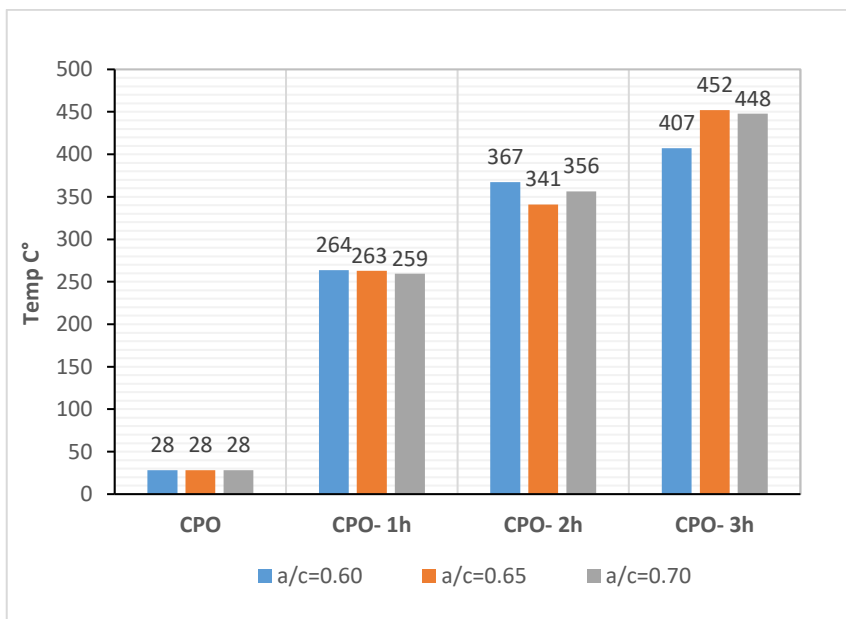


FIGURA 3.27 Temperaturas promedio alcanzadas en todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

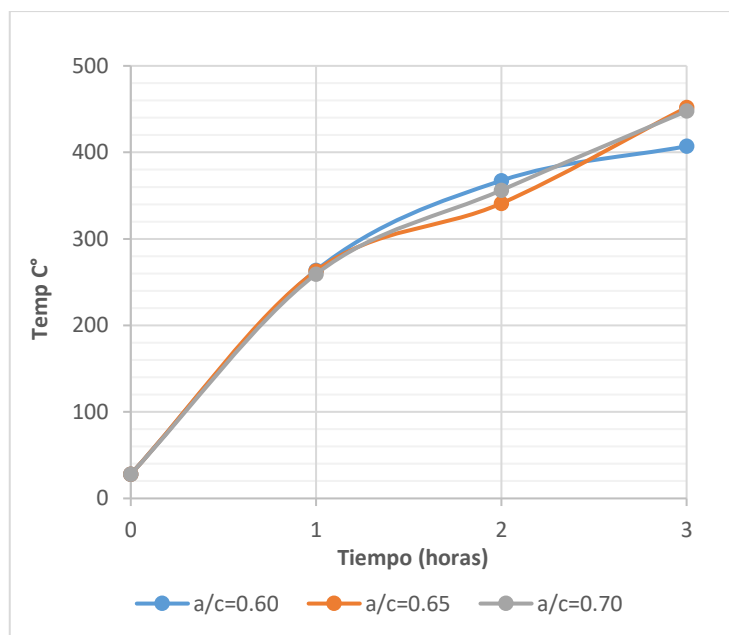


FIGURA 3.28 Temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

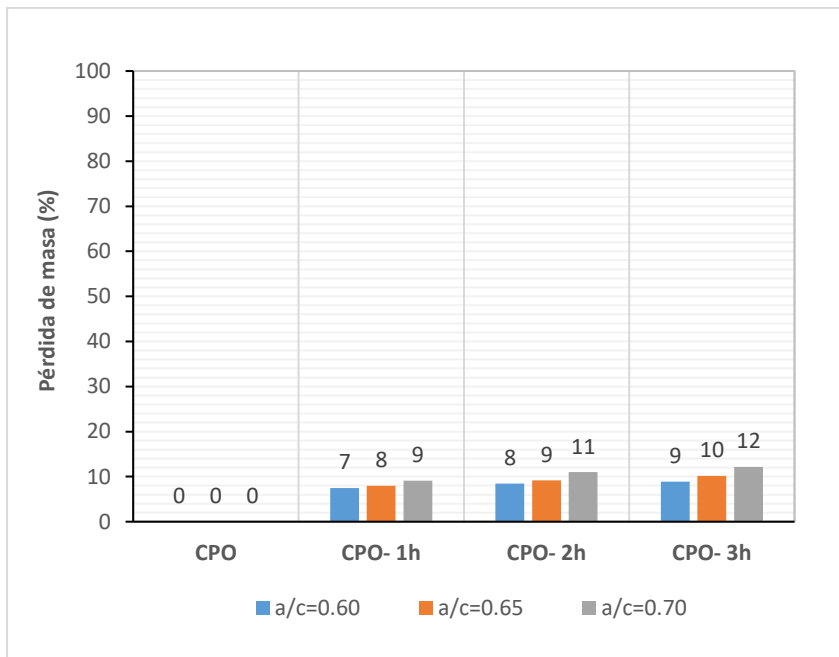


FIGURA 3.29 Pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

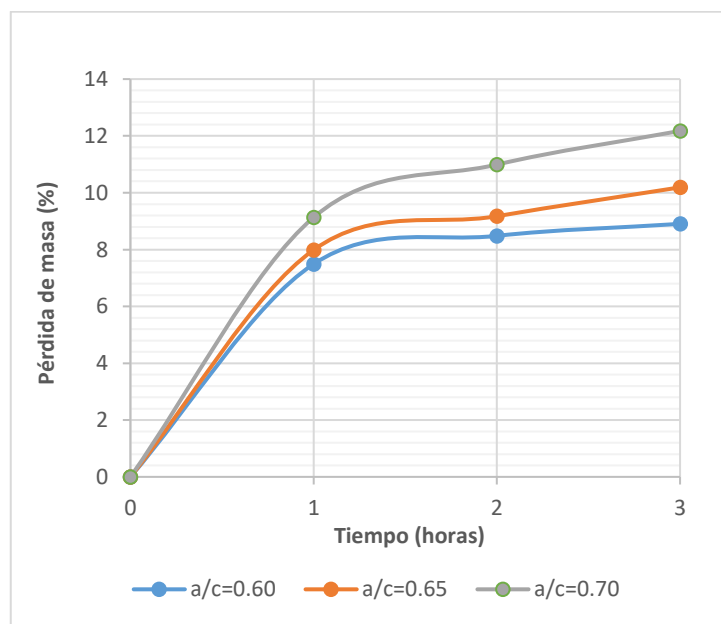


FIGURA 3.30 Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

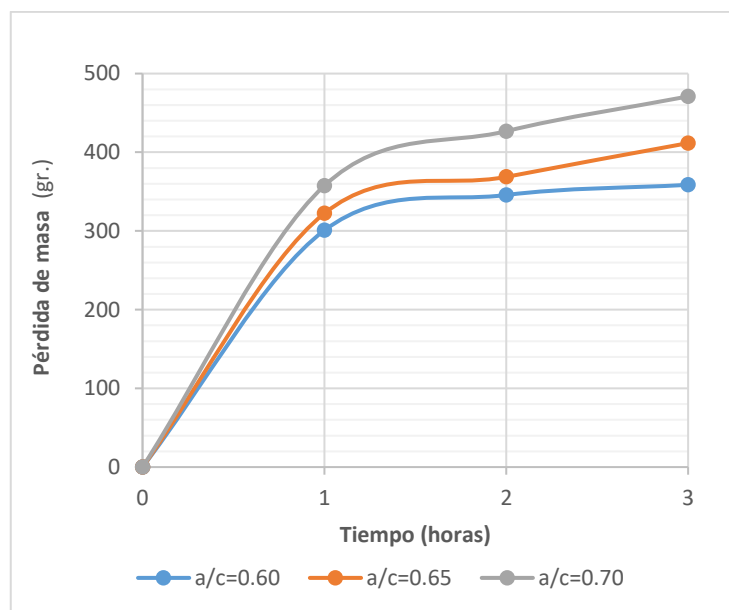


FIGURA 3.31 Pérdida de masa en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

3.5.3 Resultados del Módulo de Elasticidad

Los resultados obtenidos en los ensayos del módulo de elasticidad para las diferentes relaciones a/c se muestran en la tabla 3.15 y las figuras 3.32 a la 3.39. La pérdida del módulo de elasticidad para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.32 y 3.33. La pérdida del módulo de elasticidad (%) de todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.32, la pérdida del módulo de elasticidad (%) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.33. Valores del módulo de elasticidad (kg/cm^2) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.34.

Las temperaturas promedio alcanzadas para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.35 y 3.36. Las temperaturas promedio alcanzadas para las muestras CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.35 y las temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.36. Las temperaturas que se indican en la tabla 3.15 fueron registradas en la superficie no expuesta al fuego directo P01 (ver figura 3.9).

Las pérdidas de masa (%) para las diferentes relaciones a/c se muestran en las figuras 3.37 y 3.38. La pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO

(patrón) ,1h, 2h y 3h de exposición se muestran en la figura 3.37, la pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.38. Valores de las pérdidas de masa (gr.) en función del tiempo de exposición se muestran en la figura 3.39.

TABLA 3.15 Resultados de los ensayos del módulo elástico.

	CÓDIGO	E (kg/cm ²)	Pérdida E (%)	Temp. (P01) °C	Pérdida masa (gr.)	Pérdida masa (%)
a/c= 0.60	CPO- 0.60	186887	-	28	-	-
	CPO1- 1	80886	56.7	301	1050	7.7
	CPO1- 2	21538	88.5	359	1355	10.0
	CPO1- 3	4967	97.3	470	1640	11.9
a/c= 0.65	CPO- 0.65	168406	-	28	-	-
	CPO2- 1	24933	85.2	255	941	6.9
	CPO2- 2	6108	96.4	324	1262	9.3
	CPO2- 3	4617	97.3	458	1389	10.1
a/c= 0.70	CPO- 0.70	145736	-	28	-	-
	CPO3- 1	49538	66.0	271	1206	9.1
	CPO3- 2	8632	94.1	337	1534	11.7
	CPO3- 3	1490	99.0	430	1600	12.2

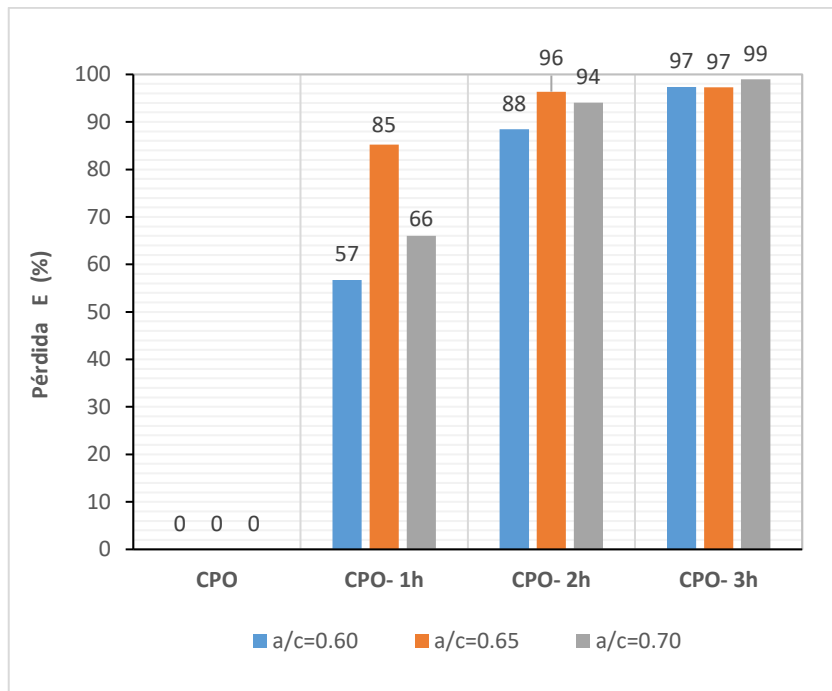


FIGURA 3.32 Pérdida del módulo de elasticidad (%) de todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

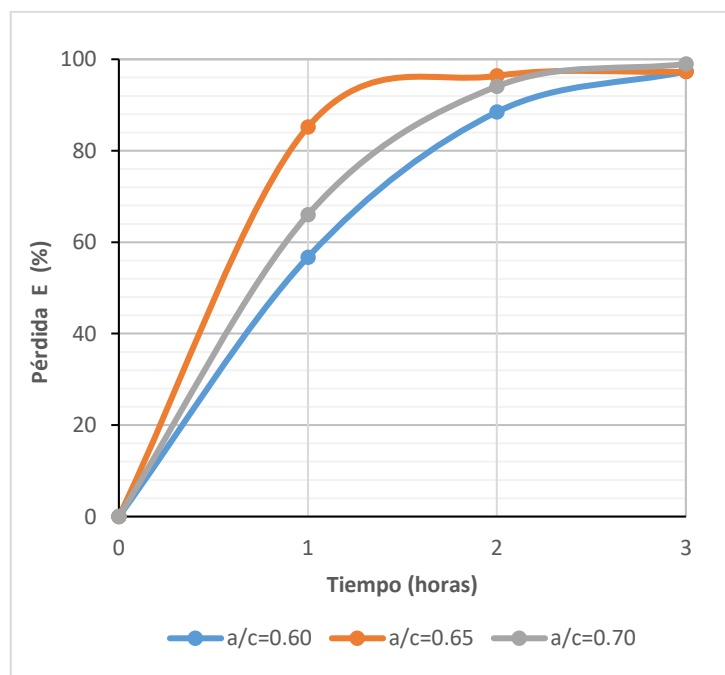


FIGURA 3.33 Pérdida del módulo de elasticidad (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

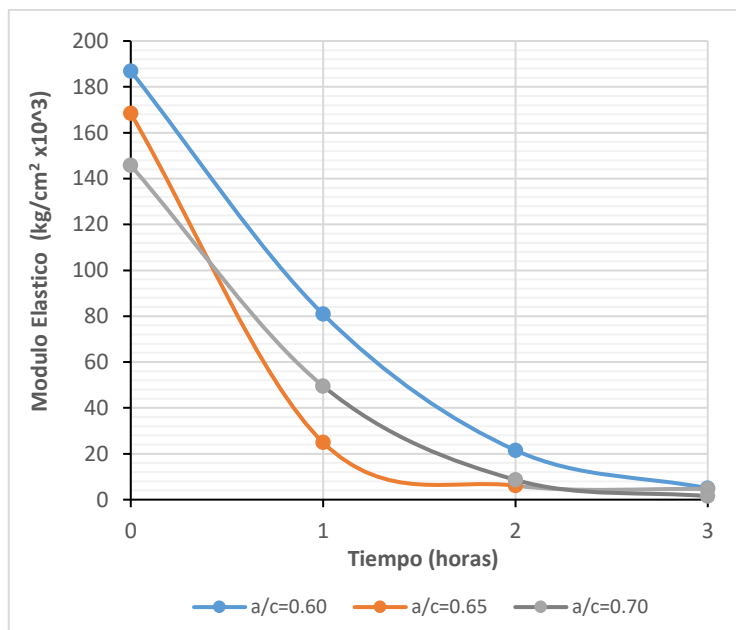


FIGURA 3.34 Módulo de elasticidad en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

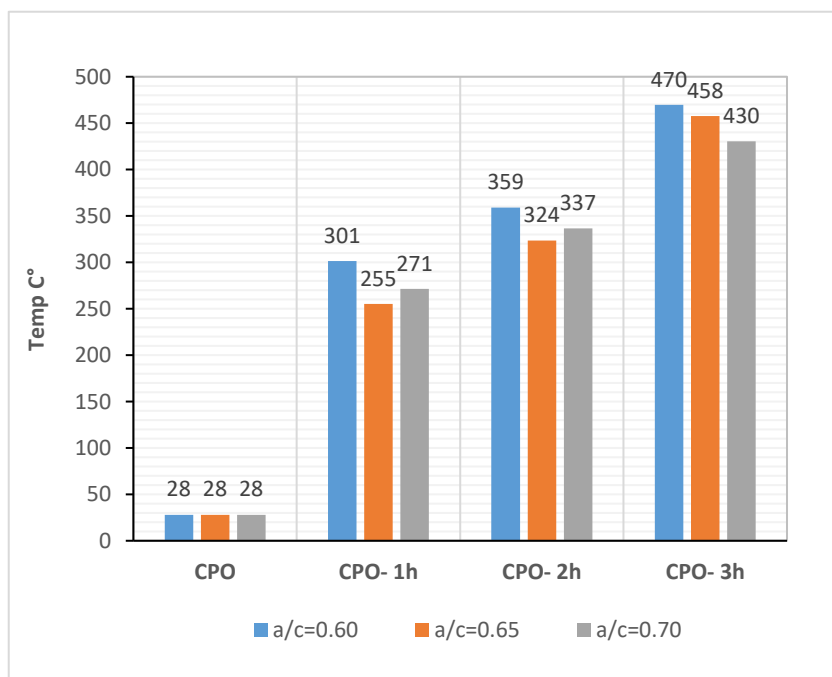


FIGURA 3.35 Temperaturas promedio alcanzadas en todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

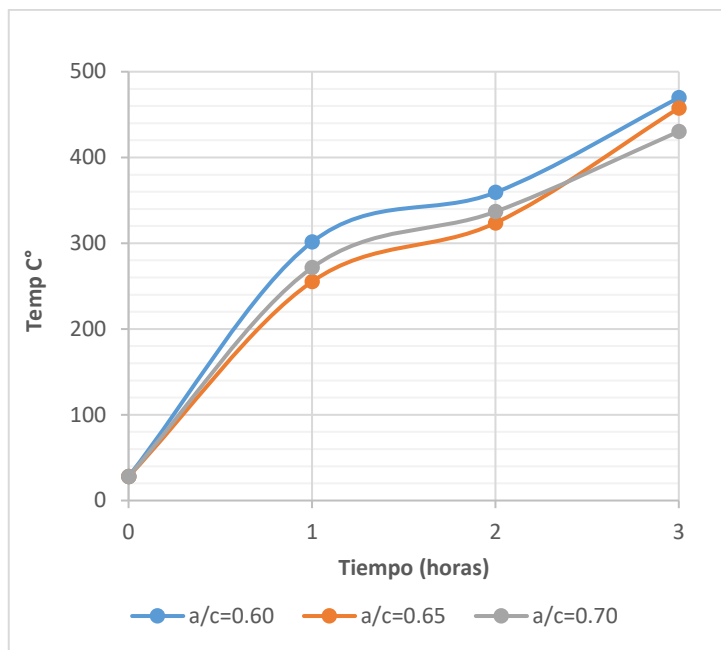


FIGURA 3.36 Temperaturas promedio alcanzadas en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

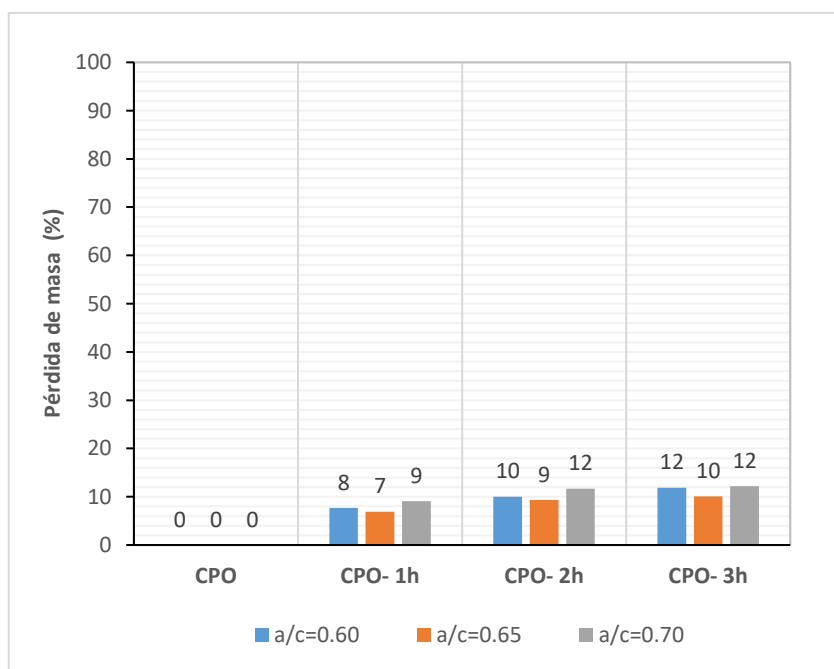


FIGURA 3.37 Pérdida de masa (%) en todas las muestras: CPO (patrón), 1h, 2h y 3h de exposición al fuego directo.

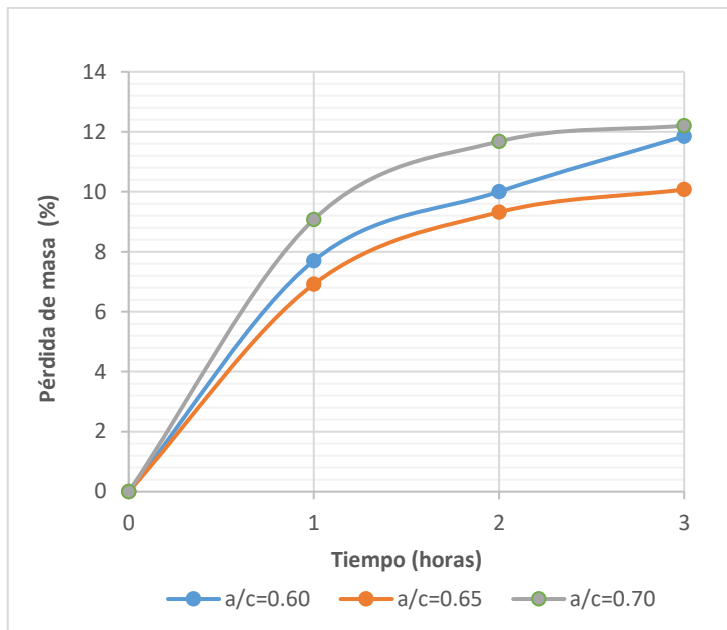


FIGURA 3.38 Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

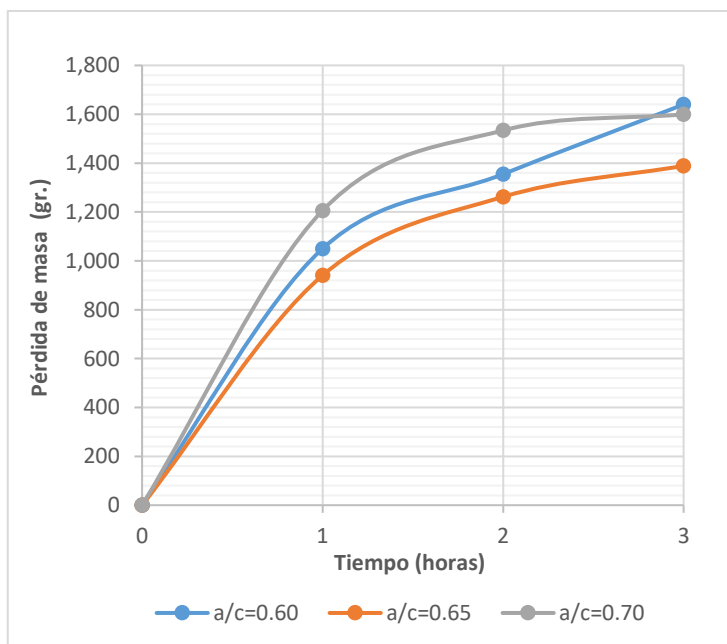


FIGURA 3.39 Pérdida de masa en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

3.5.4 Resultados de la relación Tracción- Compresión ($T / f'c$)

Los valores obtenidos de la relación de la resistencia a Tracción y compresión para las diferentes relaciones a/c , se muestran en la tabla 3.16 y las figuras 3.40 a la 3.43. Valores de la resistencia a la tracción y $T/ f'c$ (%) en función del tiempo de exposición para la relación $a/c=0.60$, se muestran en la figura 3.40. Valores de la resistencia a la tracción y $T/ f'c$ (%) en función del tiempo de exposición para la relación $a/c=0.65$, se muestran en la figura 3.41. Valores de la resistencia a la tracción y $T/ f'c$ (%) en función del tiempo de exposición para la relación $a/c=0.70$, se muestran en la figura 3.42. Los valores de la relación $T/ f'c$ (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c , se muestran en la figura 3.43.

TABLA 3.16 Resultados de los ensayos de tracción y compresión.

	CÓDIGO	T (kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²)	T / f'c (%)
a/c= 0.60	CPO- 0.60	42.1	358.3	11.7
	CPO1- 1	32.0	284.7	11.2
	CPO1- 2	24.6	243.4	10.1
	CPO1- 3	16.6	102.1	16.3
a/c= 0.65	CPO- 0.65	39.4	314.3	12.5
	CPO2- 1	30.8	156.7	19.7
	CPO2- 2	17.2	65.7	26.2
	CPO2- 3	11.6	50.6	22.9
a/c= 0.70	CPO- 0.70	34.0	257.3	13.2
	CPO3- 1	23.6	120.0	19.7
	CPO3- 2	13.1	71.3	18.4
	CPO3- 3	7.7	44.9	17.2

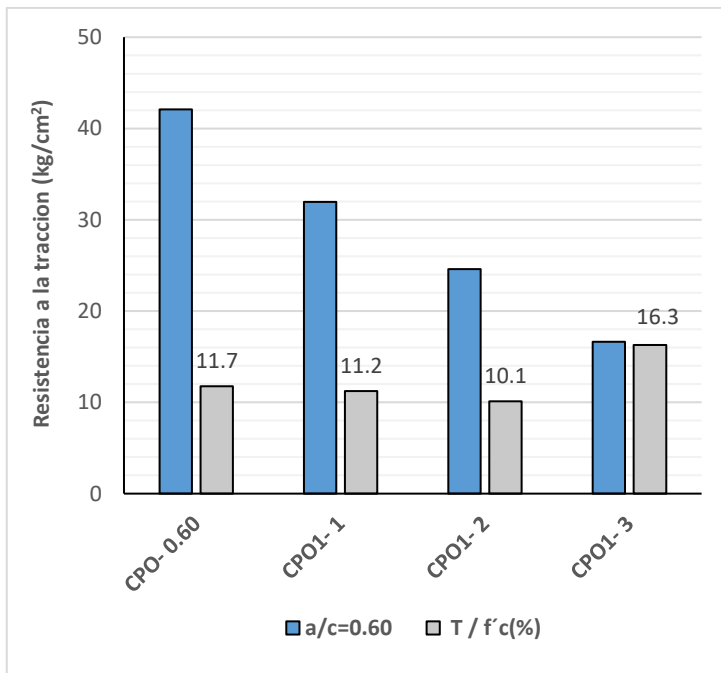


FIGURA 3.40 Resistencia a la tracción y T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para la relación a/c=0.60.

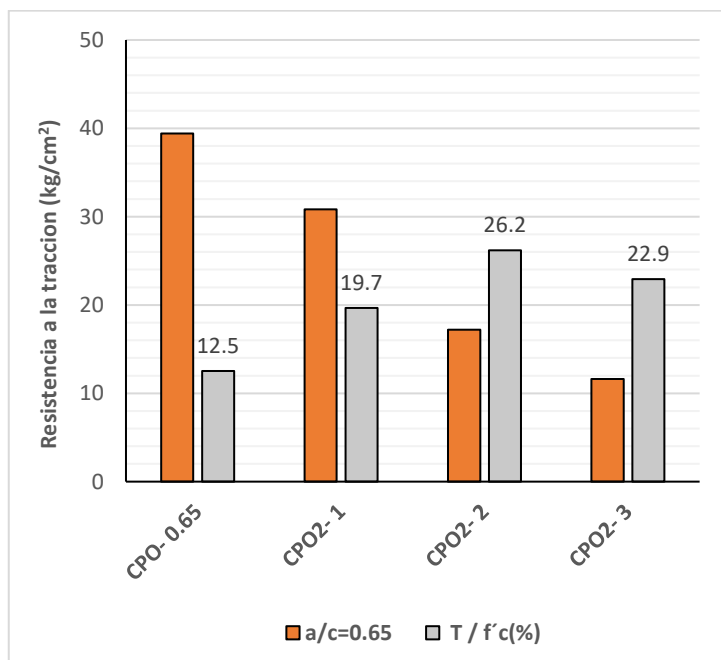


FIGURA 3.41 Resistencia a la tracción y T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para la relación a/c=0.65.

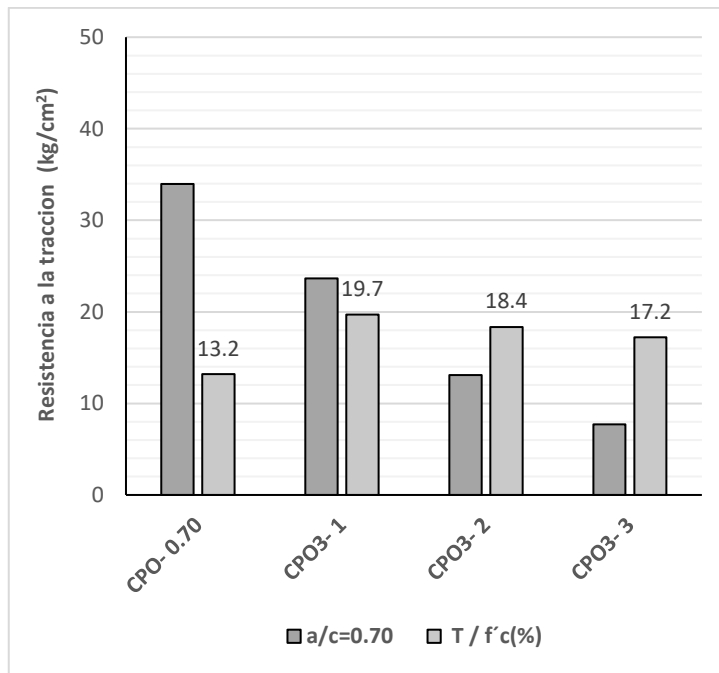


FIGURA 3.42 Resistencia a la tracción y T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para la relación a/c=0.70.

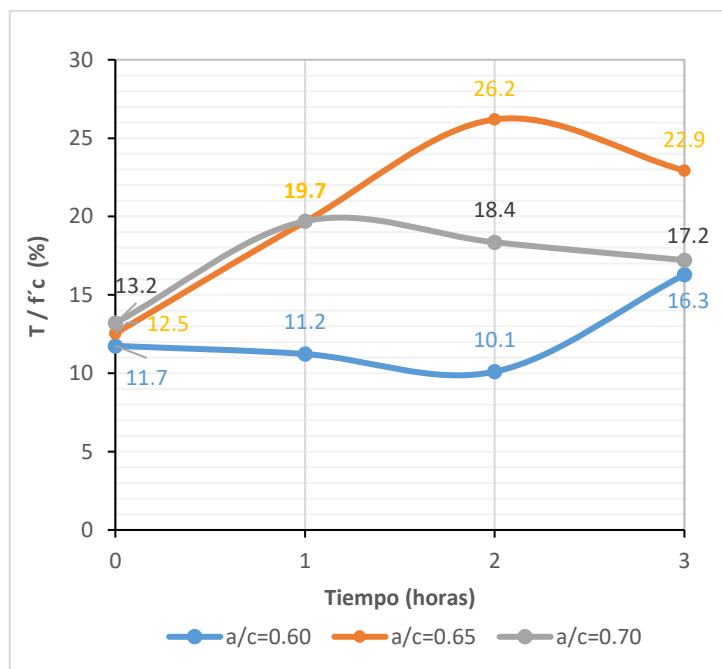


FIGURA 3.43 Relación T/ f'c (%) en función del tiempo de exposición para las diferentes relaciones a/c.

3.5.5 Influencia del tamaño de la muestra (probeta)

En el ensayo para determinar el módulo de elasticidad, se han utilizado muestras de tamaño 6" x 12" (probetas grandes) y se ha realizado previamente el ensayo de resistencia a compresión para este tamaño de probetas. Por ello se ha realizado la comparación entre la resistencia en compresión obtenida en las muestras de 6"x12" (PG) y de 4"x8" (PC), así como también evaluar la pérdida de masa.

Los resultados respecto a la resistencia en compresión obtenida en las muestras de 6"x12" (PG) y de 4"x8" (PC) se muestran en la tabla 3.17 y las figuras 3.44, 3.45 y 3.46; los resultados respecto a la pérdida de masa se muestran en la tabla 3.18 y las figuras 3.47 y 3.48. Los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión en probetas de tamaño 4"x8" y 6"x12", se muestran en la tabla 3.17. Valores de la resistencia a compresión en función del tiempo de exposición en probetas de 4" x 8" y en probetas de 6" x 12", se muestran en la figura 3.44 [a] y 3.44 [b]. La pérdida de la resistencia a compresión (%) en función del tiempo de exposición en probetas de 4" x 8" y en probetas de 6" x 12", se muestran en la figura 3.45 [a] y 3.45 [b]. Valores de la relación entre la resistencia a compresión de probeta de 6"x12" (PG) y de probeta de 4"x8" (PC) para las diferentes relaciones a/c, se muestran en la figura 3.46. Los valores de la pérdida de masa en probetas de tamaño 4"x8" y 6"x12", se muestran en la tabla 3.18. Valores de la pérdida de masa (gr.) en función del tiempo de exposición en probetas de 4" x 8" y en probetas de 6" x 12", se muestran en la figura 3.47 [a] y 3.47 [b]. La pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición en probetas de 4" x 8" y en probetas de 6" x 12", se muestran en la figura 3.48 [a] y 3.48 [b].

TABLA 3.17 Resultados de resistencia a la compresión en probetas de tamaño 4"x8" y 6"x12".

	CÓDIGO	Probeta de 4" x 8"		Probeta de 6" x 12"		$\frac{f'c(PG)}{f'c(PC)}$ (%)
		f'c (kg/cm ²)	Pérdida f'c (%)	f'c (kg/cm ²)	Pérdida f'c (%)	
a/c=0.60	CPO- 0.60	358.3	-	312.8	-	87
	CPO1- 1	284.7	20.6	264.8	15.3	93
	CPO1- 2	243.4	32.1	223.2	28.7	92
	CPO1- 3	102.1	71.5	114.0	63.5	112
a/c=0.65	CPO- 0.65	314.3	-	258.5	-	82
	CPO2- 1	156.7	50.1	137.8	46.7	88
	CPO2- 2	65.7	79.1	108.8	57.9	166
	CPO2- 3	50.6	83.9	61.2	76.3	121
a/c=0.70	CPO- 0.70	257.3	-	217.7	-	85
	CPO3- 1	120.0	53.3	171.6	21.2	143
	CPO3- 2	71.3	72.3	60.6	72.2	85
	CPO3- 3	44.9	82.5	38.1	82.5	85

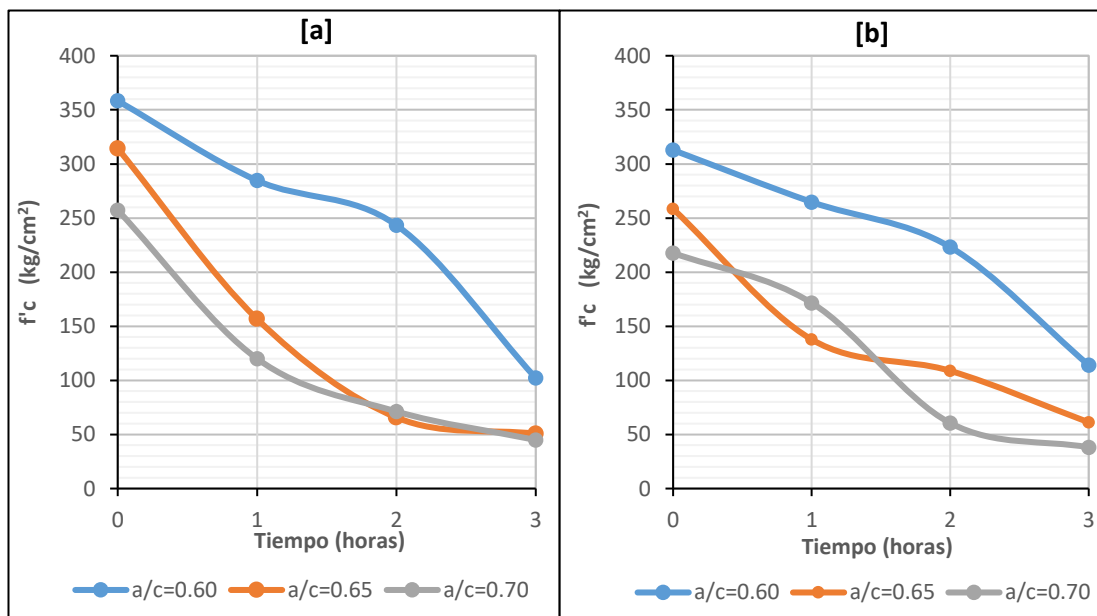


FIGURA 3.44 Resistencia a compresión en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12".

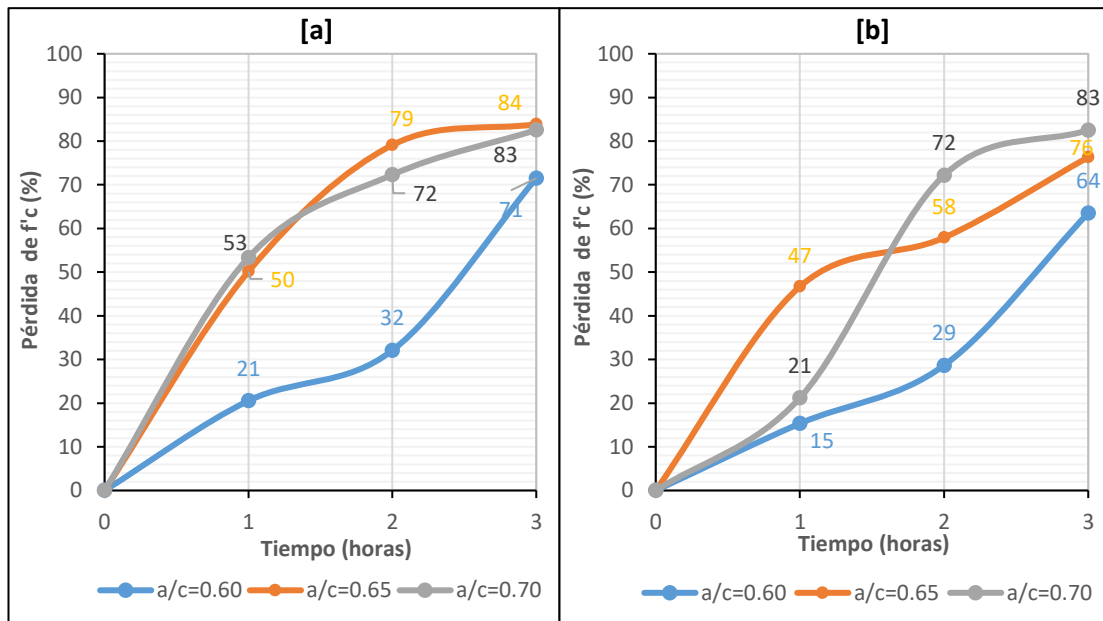


FIGURA 3.45 Pérdida de la resistencia a compresión (%) en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12".

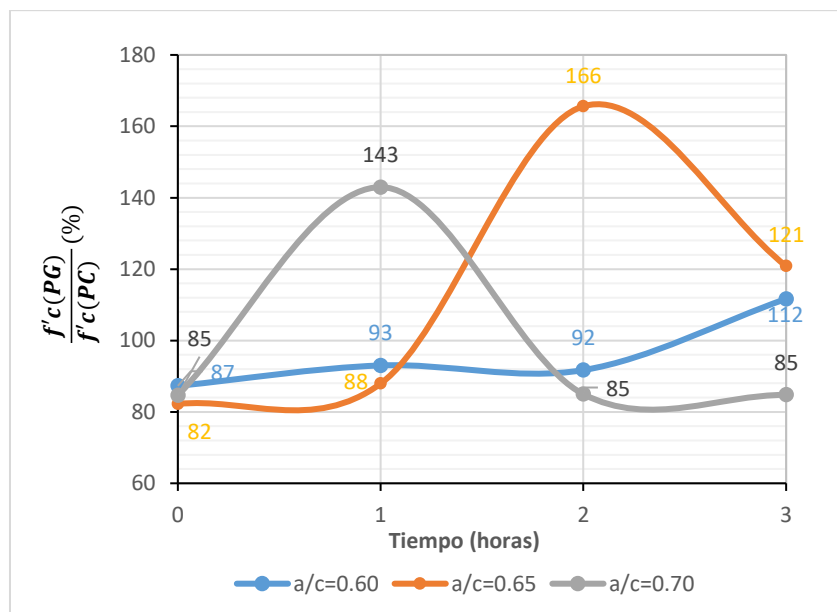


FIGURA 3.46 Relación entre la resistencia a compresión de probeta de 6"x12" (PG) y de probeta de 4"x8" (PC) para las diferentes relaciones a/c.

TABLA 3.18 Resultados de la pérdida de masa en probetas de tamaño 4"x8" y 6"x12".

	CÓDIGO	probeta de 4" x 8"		probeta de 6" x 12"	
		Δ Masa (gr.)	Δ Masa (%)	Δ Masa (gr.)	Δ Masa (%)
a/c=0.60	CPO- 0.60	-	-	-	-
	CPO1- 1	257.9	6.4	1050.0	7.7
	CPO1- 2	314.8	7.8	1355.0	10.0
	CPO1- 3	345.8	8.6	1640.0	11.9
a/c=0.65	CPO- 0.65	-	-	-	-
	CPO2- 1	328.3	8.2	940.8	6.9
	CPO2- 2	363.0	9.1	1262.0	9.3
	CPO2- 3	414.2	10.3	1389.0	10.1
a/c=0.70	CPO- 0.70	-	-	-	-
	CPO3- 1	360.8	9.2	1206.0	9.1
	CPO3- 2	417.6	10.7	1534.0	11.7
	CPO3- 3	465.1	11.9	1599.7	12.2

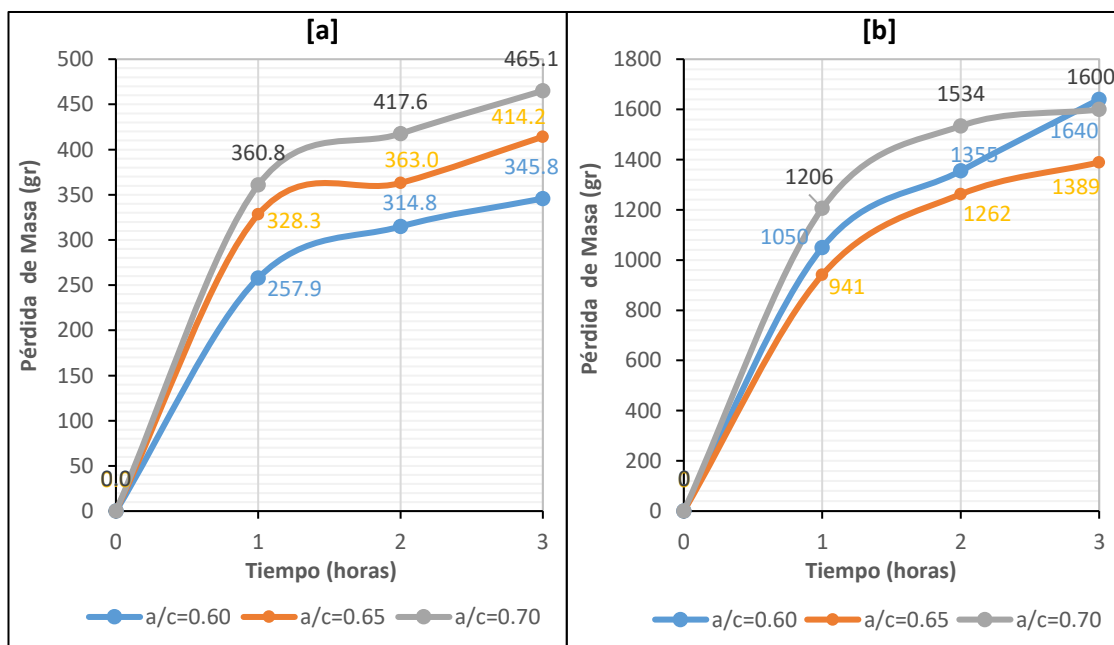


FIGURA 3.47 Pérdida de masa (gr.) en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12".

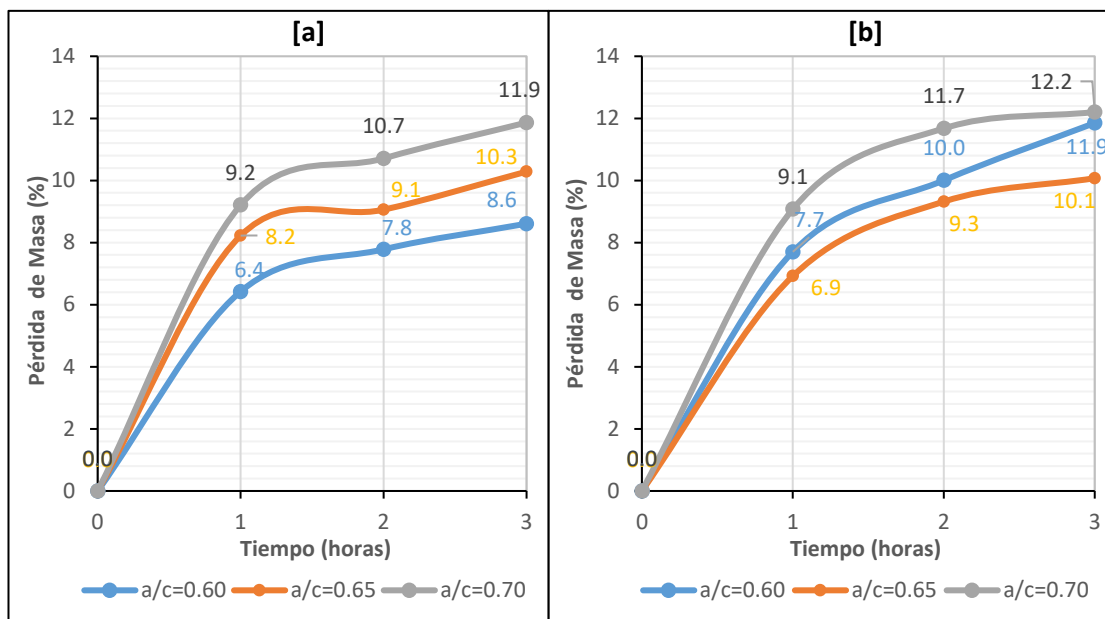


FIGURA 3.48 Pérdida de masa (%) en función del tiempo de exposición, (a) en probetas de 4" x 8", (b) en probetas de 6" x 12".

3.5.6 Temperaturas alcanzadas

Para analizar la aproximación de las temperaturas alcanzadas en cada ensayo se ha realizado una comparación entre las curvas de evolución de la temperatura promedio para los ensayos de compresión (EC), tracción (ET) y elasticidad (EE) y su respectivo curva promedio para cada relación a/c (ver tabla 3.19 y graficas 3.49, 3.50 y 3.51); se ha determinado el grado de aproximación entre ellas calculando la variación (%) de temperaturas con respecto a la temperatura media para los diferentes ensayos EC, ET y EE, como se muestra en la tabla 3.20. Luego de observar la buena aproximación de las curvas de temperatura de evolución se ha obtenido una curva de evolución de la temperatura promedio para todo el estudio (ver figura 3.52), esta curva de evolución estaba referida a la zona no expuesta al fuego directo P01 (ver figura 3.9). También se ha determinado la curva de evolución de la temperatura promedio de la zona expuesta al fuego directo (P02) para todo el estudio, ambas curvas que rigen en todo el estudio se muestra en la figura 3.53.

TABLA 3.19 Resultados de las temperaturas alcanzadas en P01 para los ensayos de compresión (EC), tracción (ET) y elasticidad (EE).

CÓDIGO	EC	ET	EE	Temp. Media. °C
	Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	
CPO- 0.60	28	28	28	28
CPO1- 1	254	264	301	273
CPO1- 2	324	367	359	350
CPO1- 3	426	407	470	434
CPO- 0.65	28	28	28	28
CPO2- 1	309	263	255	276
CPO2- 2	370	341	324	345
CPO2- 3	437	452	458	449
CPO- 0.70	28	28	28	28
CPO3- 1	291	259	271	274
CPO3- 2	373	356	337	355
CPO3- 3	444	448	430	441

TABLA 3.20 Variación (%) de temperaturas en P01 con respecto a la temperatura media para los diferentes ensayos.

CÓDIGO	EC	ET	EE
	Δ Temp. %	Δ Temp. %	Δ Temp. %
CPO- 0.60	0	0	0
CPO1- 1	-7	-3	10
CPO1- 2	-8	5	3
CPO1- 3	-2	-6	8
CPO- 0.65	0	0	0
CPO2- 1	12	-5	-7
CPO2- 2	7	-1	-6
CPO2- 3	-3	1	2
CPO- 0.70	0	0	0
CPO3- 1	6	-5	-1
CPO3- 2	5	0	-5
CPO3- 3	1	2	-2

(-) menor a la media, (+) mayor a la media.

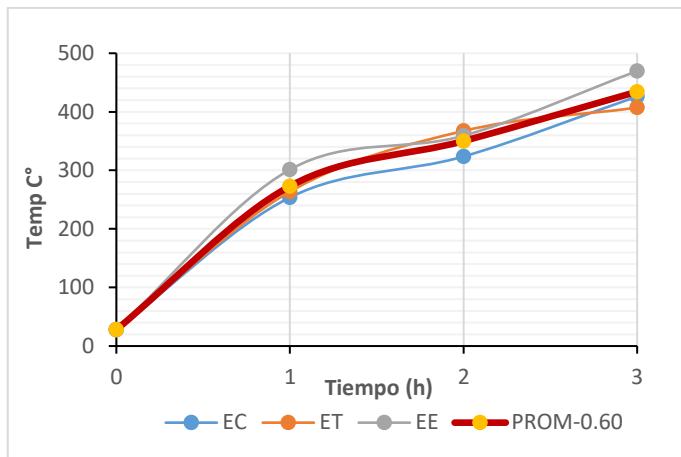


FIGURA 3.49 Temperaturas alcanzada en P01 en los diversos ensayos para la relación a/c=0.60.

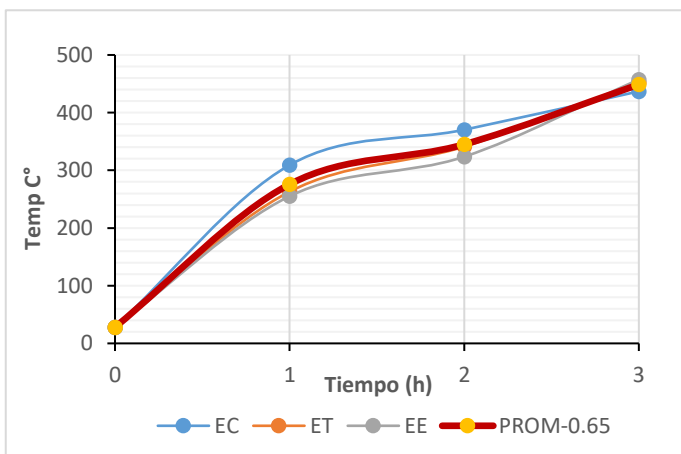


FIGURA 3.50 Temperaturas alcanzada en P01 en los diversos ensayos para la relación a/c=0.65.

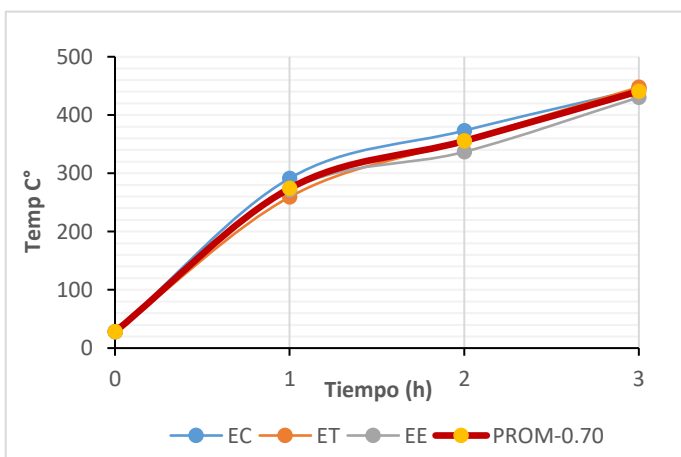


FIGURA 3.51 Temperaturas alcanzada en P01 en los diversos ensayos para la relación a/c=0.70.

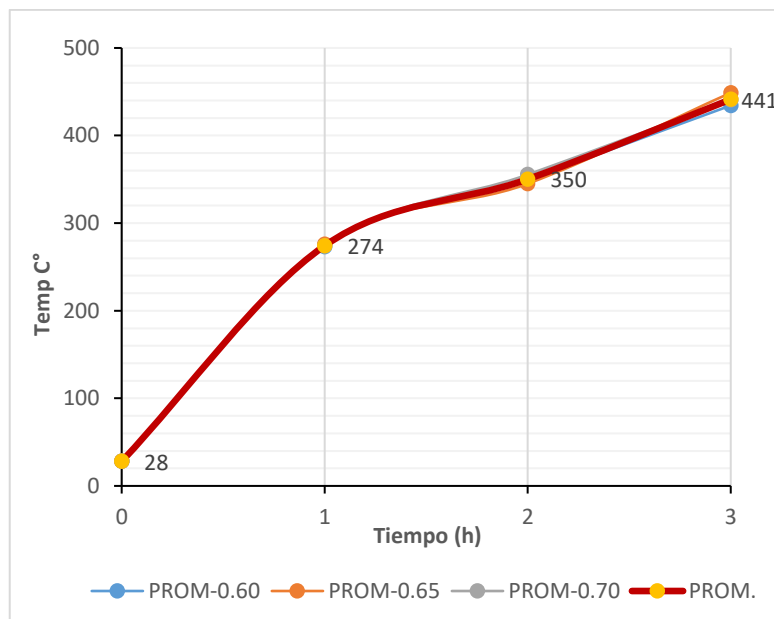


FIGURA 3.52 Temperaturas Promedio alcanzadas en P01 para el presente estudio.

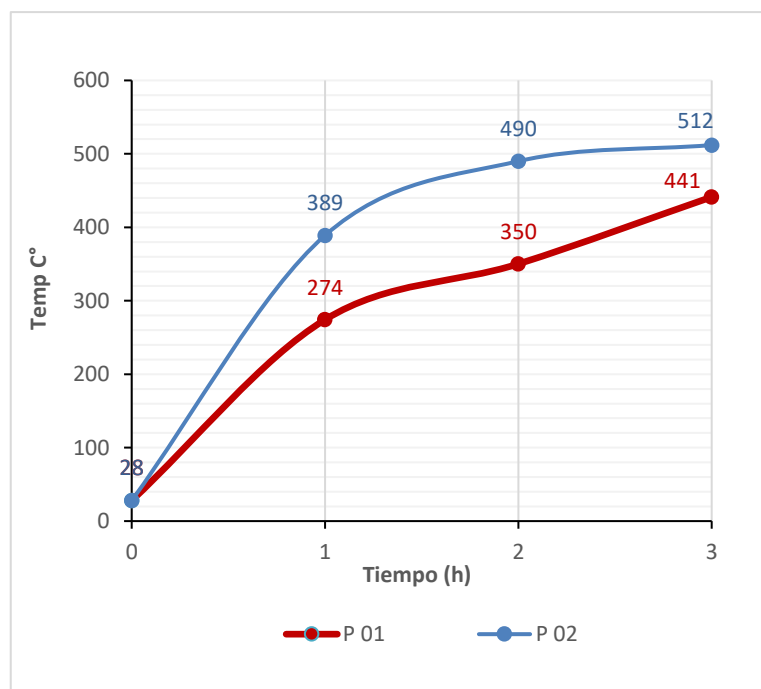


FIGURA 3.53 Curvas de Temperaturas Promedio en zona no expuesta (P01) y expuesta (P02) al fuego directo para el presente estudio.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Generalidades

Los resultados obtenidos a nivel global son muy alentadores, originales y únicos, ya que por primera vez se han sometido probetas a la incidencia del fuego directo controlando el tiempo de exposición y monitoreando la temperatura de las muestras en tiempo real. Es así que se ha logrado evaluar la pérdida de masa, la pérdida de la resistencia en compresión, tracción y del módulo elástico, la variación del comportamiento elástico del concreto, la relación Tracción-Compresión, la influencia del tamaño de la muestra (probeta) en la resistencia a compresión y en la pérdida de masa, las temperatura alcanzadas y su evolución en el tiempo. El uso de la madera reciclada como material combustible ha permitido que la investigación minimice el impacto hacia el medio ambiente. Es de nuestro conocimiento que toda investigación y/o ensayo tiene también un costo ambiental, en ese sentido se ha tratado en lo posible de minimizar el impacto causado al medio ambiente usando madera reciclada de los botaderos de obras civiles y realizando los procesos de quemado en las noches en la zona externa del LEM- UNI.

4.2. Agregados

El agregado fino proveniente de la cantera Trapiche cumple la norma ASTM al presentar 7.4% de cantidad de finos siendo menor al 10% permisible. El agregado grueso proveniente de la cantera Unicon, cumple el huso granulométrico 5 de la norma ASTM y también con tener una contextura semiangular con superficie rugosa.

4.3. Propiedades del concreto en estado fresco

a) Consistencia

El concreto patrón posee un asentamiento de 3 1/4", 4" y 4" para las relaciones a/c de 0.60, 0.65, 0.70 respectivamente, lo que indica una buena trabajabilidad y consistencia para las relaciones a/c estudiadas.

b) Peso unitario

La mezcla de concreto de relación $a/c=0.65$ ha resultado ser la mezcla con mayor peso unitario, con un valor de 2325 kg/m^3 , seguido por la mezcla de relación $a/c=0.60$, con un valor de 2314 kg/m^3 y finalmente la mezcla de relación $a/c=0.70$ resultó con menor peso unitario, con un valor de 2313 kg/m^3 .

c) Contenido de aire

Las mezclas de las relaciones investigadas presentan valores de 1.60% a 2.10%, obteniéndose para relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70, cantidades de aire de 2.10%, 1.60% y 1.75% respectivamente. Lo que concuerda con lo descrito en el ACI 211, que menciona que para agregados de TMN igual a 1", le corresponde una cantidad de aire atrapado de 1.5%.

4.4. Propiedades del concreto en estado endurecido

4.4.1. Resistencia a la compresión

Se ha realizado este ensayo en probetas de tamaño 4" x 8" y a la edad de 42 días. Los resultados se han evaluado para las diferentes relaciones a/c . Luego de analizar las tablas y figuras de la sección 3.4.1 y 3.5.1, se ha determinado lo siguiente:

a) Concreto de $a/c=0.60$

La resistencia patrón para esta relación fue de 358.3 kg/cm^2 . La mínima resistencia a compresión fue de 102.1 kg/cm^2 , obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 20.6% de resistencia en compresión, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 32.1% de resistencia en compresión, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 71.5 % de resistencia en compresión con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c , han sido las menos afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido la menor pérdida de la resistencia (%) en los diferentes tiempos de exposición, en comparación con las otras relaciones a/c .

b) Concreto de a/c=0.65

La resistencia patrón para esta relación fue de 314.3 kg/cm². La mínima resistencia a compresión fue de 50.6 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 50.1 % de resistencia en compresión, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 79.1 % de resistencia en compresión, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 83.9 % de resistencia en compresión con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido parcialmente las más afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido la mayor pérdida de resistencia (%) para un tiempo de 2 y 3 horas de exposición, en comparación con las otras relaciones a/c.

c) Concreto de a/c=0.70

La resistencia patrón para esta relación fue de 257.3 kg/cm². La mínima resistencia a compresión fue de 44.9 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 53.3 % de resistencia en compresión, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 72.3 % de resistencia en compresión, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 82.5 % de resistencia en compresión con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido parcialmente menos afectadas por la incidencia del fuego directo, en comparación con la relación a/c=0.65, ya que han sufrido menor pérdida de resistencia (%) para un tiempo de 2 y 3 horas de exposición.

4.4.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral

Se ha realizado este ensayo en probetas de tamaño 4" x 8" y a la edad de 42 días. Los resultados se han evaluado para las diferentes relaciones a/c. Luego de analizar las tablas y figuras de la sección 3.4.2 y 3.5.2, se ha determinado lo siguiente:

a) Concreto de a/c=0.60

La resistencia patrón para esta relación fue de 42.1 kg/cm². La mínima resistencia a tracción fue de 16.6 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3

horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 24.1 % de resistencia en tracción, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 41.6 % de resistencia en tracción, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 60.5 % de resistencia en tracción con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido las menos afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido la menor pérdida de la resistencia (%) para un tiempo de 2 y 3 horas de exposición, en comparación con las otras relaciones a/c. Los valores de la resistencia a tracción para los diferentes tiempos de exposición, son los de mayor valor, en comparación a las demás relaciones a/c.

b) Concreto de a/c=0.65

La resistencia patrón para esta relación fue de 39.4 kg/cm². La mínima resistencia a tracción fue de 11.6 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 21.8 % de resistencia en tracción, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 56.3 % de resistencia en tracción, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 70.5 % de resistencia en tracción con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido parcialmente las menos afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido ligeramente la menor pérdida de resistencia (%) para un tiempo de 1 hora de exposición, en comparación con las otras relaciones a/c. Los valores de la resistencia a tracción para los diferentes tiempos de exposición, se encuentran entre los valores obtenidos en la relación a/c=0.60 y a/c=0.70.

c) Concreto de a/c=0.70

La resistencia patrón para esta relación fue de 34kg/cm². La mínima resistencia a tracción fue de 7.7 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 30.4 % de resistencia en tracción. Las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 61.5 % de resistencia en tracción, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 77.2 % de resistencia en tracción. Las muestras de esta

relación a/c, han sido las más afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido la mayor pérdida de resistencia (%) para los diferentes tiempos de exposición, en comparación con las otras relaciones a/c. Los valores de la resistencia a tracción para los diferentes tiempos de exposición, son los de mayor valor, en comparación de las demás relaciones a/c.

4.4.3. Módulo de Elasticidad

Se ha realizado este ensayo en probetas de tamaño 6" x12" y a la edad de 42 días. Los resultados se han evaluado para las diferentes relaciones a/c. Estructuralmente un módulo elástico elevado significa que para un mismo nivel de cargas la deformación es menor que en uno que posee un menor modulo elástico. Luego de analizar las tablas y figuras de la sección 3.4.3 y 3.5.3, se ha determinado lo siguiente:

a) Concreto de a/c=0.60

El módulo elástico patrón para esta relación fue de 186887 kg/cm². El mínimo módulo elástico fue de 4967 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 56.7 % del valor de módulo elástico, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 88.5 % del valor de módulo, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 97.3 % del valor de módulo elástico con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido las menos afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido la menor pérdida del valor del módulo elástico (%) para los diferentes tiempos de exposición, en comparación con las otras relaciones a/c. Los valores del módulo elástico para los diferentes tiempos de exposición, son los de mayor valor, en comparación de las demás relaciones a/c.

b) Concreto de a/c=0.65

El módulo elástico patrón para esta relación fue de 168406 kg/cm². El mínimo módulo elástico fue de 4617 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 85.2 % del valor de módulo elástico, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 96.4

% del valor de módulo elástico, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 97.3 % del valor de módulo elástico con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido las más afectadas por la incidencia del fuego directo, ya que han sufrido la mayor pérdida del valor del módulo elástico (%) para un tiempo de 1 y 2 horas de exposición, en comparación de las demás relaciones a/c.

c) Concreto de a/c=0.70

El módulo elástico patrón para esta relación fue de 145736 kg/cm². El mínimo módulo elástico fue de 1490 kg/cm², obtenida para la muestra sometida a 3 horas de exposición al fuego directo. Las muestras que han sido sometidos durante 1 hora al fuego directo perdieron 66.0 % del valor de módulo elástico, las muestras que han sido sometidos durante 2 horas al fuego directo perdieron 94.1 % del valor de módulo elástico, las muestras que han sido sometidos durante 3 horas al fuego directo perdieron 99.0 % del valor de módulo elástico con respecto del concreto patrón. Las muestras de esta relación a/c, han sido afectadas en menor grado por la incidencia del fuego directo, ya que solo han sufrido una mayor pérdida del valor de módulo elástico (%) para el tiempo de 3 horas de exposición, en comparación de la relación a/c=0.65. Los valores del módulo elástico para 1 y 2 horas de exposición, son los de mayor valor, en comparación con la relación a/c=0.65.

4.4.4. Relación Tracción- Compresión (T / f'c)

Esta relación expresada en porcentaje, cuantifica la magnitud de la resistencia a tracción con respecto de la resistencia en compresión de la misma muestra en estudio. El valor de esta relación comúnmente oscila entre el 8.5% a 12.5%, para un concreto convencional. Un valor superior a este valor promedio, significaría un mejor comportamiento para la tracción que la compresión ante la incidencia del fuego directo. Los ensayos de Tracción y compresión se han realizado en probetas de tamaño 4" x 8" y a la edad de 42 días. Los resultados se han evaluado para cada relación a/c. Luego de analizar las tablas y figuras de la sección 3.5.4 se ha determinado lo siguiente:

a) Concreto de a/c=0.60

El valor de $T/f'c$ (%) patrón para esta relación fue de 11.7%. El valor de $T/f'c$ (%) para 1 hora de tiempo de exposición fue de 11.2%, el valor de $T/f'c$ (%) para 2 horas de tiempo de exposición fue de 10.1%, el valor de $T/f'c$ (%) para 3 horas de tiempo de exposición fue de 16.3%. El mínimo valor de 10.1% se registró para 2 horas de tiempo de exposición. El máximo valor de 16.3% se registró para 3 horas de tiempo de exposición.

b) Concreto de a/c=0.65

El valor de $T/f'c$ (%) patrón para esta relación fue de 12.5%. El valor de $T/f'c$ (%) para 1 hora de tiempo de exposición fue de 19.7%, el valor de $T/f'c$ (%) para 2 horas de tiempo de exposición fue de 26.2%, el valor de $T/f'c$ (%) para 3 horas de tiempo de exposición fue de 22.9%. El mínimo valor de 19.7% se registró para 1 hora de tiempo de exposición. El máximo valor de 26.2% se registró para 2 horas de tiempo de exposición.

c) Concreto de a/c=0.70

El valor de $T/f'c$ (%) patrón para esta relación fue de 13.2%. El valor de $T/f'c$ (%) para 1 hora de tiempo de exposición fue de 19.7%. el valor de $T/f'c$ (%) para 2 horas de tiempo de exposición fue de 18.4%, el valor de $T/f'c$ (%) para 3 horas de tiempo de exposición fue de 17.2%. El mínimo valor de 17.2% se registró para 3 horas de tiempo de exposición. El máximo valor de 19.7% se registró para 1 hora de tiempo de exposición.

4.4.5. Influencia del tamaño de la muestra (probeta)

Se ha realizado la comparación entre la resistencia en compresión y la pérdida de masa obtenida en las muestras de 6"x 12" y de 4"x 8" de tamaño. Los resultados se han evaluado para cada relación a/c. Se denominará simplemente "resistencia" a la resistencia en compresión en esta sección. Luego de analizar las tablas y figuras de la sección 3.5.5 se ha determinado lo siguiente:

a) Concreto de a/c=0.60

La resistencia patrón en probetas de 6"x 12" fue 312.8 Kg/cm², es decir un 87% del valor de las probetas de 4"x 8" (358.3 Kg/cm²). La resistencia a 1 hora de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 264.8 Kg/cm², es decir un 93%

del valor de las probetas de 4"x 8" (284.7 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 15.3%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (20.6%). La resistencia a 2 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 223.2 Kg/cm², es decir un 92% del valor en probetas de 4"x 8" (243.4 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 28.7%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (32.1%). La resistencia a 3 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 114 Kg/cm², es decir un 112% del valor en probetas de 4"x 8" (102.1 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 63.5%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (71.5%). La pérdida de masa (%) en las probetas de 6"x 12" fueron de 7.7%, 10.0% y 11.9% para 1, 2 y 3 horas de exposición respectivamente, siendo valores superiores a los de las probetas de 4"x 8", con 6.4%, 7.8% y 8.6%.

b) Concreto de a/c=0.65

La resistencia patrón en probetas de 6"x 12" fue 285.5 Kg/cm², es decir un 82% del valor de las probetas de 4"x 8" (314.3 Kg/cm²). La resistencia a 1 hora de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 137.8 Kg/cm², es decir un 88% del valor en probetas de 4"x 8" (156.7 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 46.7%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (50.1%). La resistencia a 2 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 108.8Kg/cm², es decir un 166% del valor en probetas de 4"x 8" (65.7 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 57.9%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (79.1%). La resistencia a 3 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 61.2 Kg/cm², es decir un 121% del valor en probetas de 4"x 8" (50.6 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12 resultó 76.3%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (83.9%). La pérdida de masa (%) en las probetas de 4"x 8" fueron de 8.2%, 9.1% y 10.3% para 1, 2 y 3 horas de exposición respectivamente, siendo valores ligeramente mayores a los de las probetas de 6"x 12", con 6.9%, 9.3% y 10.1%, a excepción de la 2ª hora de exposición.

c) Concreto de a/c=0.70

La resistencia patrón en probetas de 6"x 12" fue 217.7 Kg/cm², es decir un 85% del valor de las probetas de 4"x 8" (257.3 Kg/cm²). La resistencia a 1 hora de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 171.6 Kg/cm², es decir un 143%

del valor en probetas de 4"x 8" 120.0 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 21.2%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (53.3%). La resistencia a 2 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 60.6 Kg/cm², es decir un 85% del valor en probetas de 4"x 8" (71.3 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 72.2%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (72.3%). La resistencia a 3 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 38.1 Kg/cm², es decir un 85% del valor en probetas de 4"x 8" (44.9 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 82.5%, siendo igual al valor en probetas de 4"x 8" (82.5%). La pérdida de masa (%) en las probetas de 6"x 12" fueron de 9.1%, 11.7% y 12.2% para 1, 2 y 3 horas de exposición respectivamente, siendo valores ligeramente mayores a los de las probetas de 4"x 8", con 9.2%, 10.7% y 11.9%.

4.4.6. Temperaturas alcanzadas

Luego de observar la buena aproximación de las curvas de temperatura de evolución se ha obtenido una curva de evolución de la temperatura promedio para todo el estudio (ver figura 3.52), esta curva de evolución estaba referida a la zona no expuesta al fuego directo P01 (ver figura 3.9) y las temperaturas alcanzadas fueron: 274°C, 350°C y 441°C para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente. También se ha determinado la curva de evolución de la temperatura promedio de la zona expuesta al fuego directo (P02) para todo el estudio, las temperaturas alcanzadas fueron: 389°C, 490°C y 512°C para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente. Ambas curvas se muestran en la figura 3.53.

Para obtener la curva de evolución referida a la zona no expuesta al fuego directo P01, se han analizado las tablas y figuras de la sección 3.5.6 para cada relación a/c. Llamaremos por cuestiones prácticas a los ensayos en compresión EC; a los de tracción, ET y a los de elasticidad, EE. En las variaciones de temperatura el signo positivo indica que la temperatura alcanzada esta sobre la media y el signo negativo, por debajo de la misma (según tabla 3.20).

a) Concreto de a/c=0.60

- Las temperaturas promedio fueron: 273°C, 350°C y 434°C para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.

- Para los EC se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de -7%, -8%y -2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Para los ET se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de -3%, 5%y -6 para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Para EE se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de 10%, 3%y 8% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.

b) Concreto de $a/c=0.65$

- Para los EC se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de 12%, 7%y -3% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Para los ET se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de -5%, -1%y 1% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Para los EE se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de -7%, -6%y 2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.

c) Concreto de $a/c=0.70$

- Para los EC se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de 6%, 5%y 1% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Para los ET se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de -5%, 0%y 2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Para los EE se han tenido variaciones de Temperatura con respecto de la media, de -1%, -5%y -2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

a) Conclusiones cuantitativas

- Las temperaturas promedio alcanzadas referida a la zona expuesta al fuego directo (P02) para el presente estudio fueron: 389°C, 490°C y 512°C para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente. Las temperaturas promedio alcanzadas referida a la zona no expuesta al fuego directo (P01) para el presente estudio fueron: 274 °C, 350 °C y 441 °C para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente. Ambas curvas de temperatura de P02 respecto a P01, presentaron gradientes de 115°C, 140°C y 71°C para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Respecto a la resistencia a compresión, para la relación $a/c=0.60$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 20.6%, 32.1% y 71.5 % para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación $a/c=0.65$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 50.1 %, 79.1 % y 83.9 % para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación $a/c=0.70$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 53.3 %, 72.3 % y 82.5 % para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Respecto a la resistencia a tracción, para la relación $a/c=0.60$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 24.1%, 41.6% y 60.5% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación $a/c=0.65$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 21.8%, 56.3% y 70.5% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación $a/c=0.70$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 30.4%, 61.5% y 77.2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Respecto al módulo de elasticidad, para la relación $a/c=0.60$ las pérdidas (%) fueron de 56.7%, 88.5% y 97.3% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación $a/c=0.65$ las pérdidas (%) fueron de 85.2%, 96.4% y 97.3% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación $a/c=0.70$ las pérdidas de resistencia (%) fueron de 66.0%, 94.1% y 99.0% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.

- Respecto a la influencia del tamaño de la muestra en la resistencia a compresión, para la relación $a/c=0.60$, la resistencia patrón en probetas de 6"x 12" fue 312.8 Kg/cm², es decir un 87% del valor de las probetas de 4"x 8" (358.3 Kg/cm²). La resistencia a 1 hora de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 264.8 Kg/cm², es decir un 93% del valor de las probetas de 4"x 8" (284.7 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 15.3%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (20.6%). La resistencia a 2 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 223.2 Kg/cm², es decir un 92% del valor en probetas de 4"x 8" (243.4 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 28.7%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (32.1%). La resistencia a 3 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 114 Kg/cm², es decir un 112% del valor en probetas de 4"x 8" (102.1 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 63.5%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (71.5%).

Para la relación $a/c=0.65$, la resistencia patrón en probetas de 6"x 12" fue 285.5 Kg/cm², es decir un 82% del valor de las probetas de 4"x 8" (314.3 Kg/cm²). La resistencia a 1 hora de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 137.8 Kg/cm², es decir un 88% del valor en probetas de 4"x 8" (156.7 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 46.7%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (50.1%). La resistencia a 2 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 108.8Kg/cm², es decir un 166% del valor en probetas de 4"x 8" (65.7 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 57.9%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (79.1%). La resistencia a 3 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 61.2 Kg/cm², es decir un 121% del valor en probetas de 4"x 8" (50.6 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12 resultó 76.3%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (83.9%).

Para la relación $a/c=0.70$, la resistencia patrón en probetas de 6"x 12" fue 217.7 Kg/cm², es decir un 85% del valor de las probetas de 4"x 8" (257.3 Kg/cm²). La resistencia a 1 hora de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 171.6 Kg/cm², es decir un 143% del valor en probetas de 4"x 8"

120.0 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 21.2%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (53.3%). La resistencia a 2 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 60.6 Kg/cm², es decir un 85% del valor en probetas de 4"x 8" (71.3 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 72.2%, siendo menor al valor en probetas de 4"x 8" (72.3%). La resistencia a 3 horas de tiempo de exposición en probetas de 6"x 12" fue 38.1 Kg/cm², es decir un 85% del valor en probetas de 4"x 8" (44.9 Kg/cm²). La pérdida de la resistencia (%) en probetas de 6"x 12" resultó 82.5%, siendo igual al valor en probetas de 4"x 8" (82.5%).

- Respecto a la pérdida de masa, en probetas de 4"x 8", para la relación a/c=0.60 las pérdidas de masa (%) fueron de 6.4%, 7.8% y 8.6% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación a/c=0.65 las pérdidas de masa (%) fueron de 8.2%, 9.1% y 10.3% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación a/c=0.70 las pérdidas de masa (%) fueron de 9.2%, 10.7% y 11.9% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente. En probetas de 6"x 12", para la relación a/c=0.60 las pérdidas de masa (%) fueron de 7.7%, 10.0% y 11.9% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación a/c=0.65 las pérdidas de masa (%) fueron de 6.9%, 9.3% y 10.1% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación a/c=0.70 las pérdidas de masa (%) fueron de 9.1%, 11.7% y 12.2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.
- Respecto a la relación T/ f'c(%), para la relación a/c=0.60 los valores obtenidos (%) fueron de 11.2%, 10.1% y 16.3% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación a/c=0.65 los valores obtenidos (%) fueron de 19.7%, 26.2% y 22.9% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente, para la relación a/c=0.70 los valores obtenidos (%) fueron de 19.7%, 18.4% y 17.2% para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente.

b) Conclusiones cualitativas

- Las temperaturas promedio alcanzadas referida a la zona expuesta al fuego directo (P02) para el presente estudio fueron mayores para los diferentes tiempos de exposición, respecto a las temperaturas promedio alcanzadas referidos a la zona no expuesta al fuego directo (P01).
- En la resistencia a la compresión, el concreto de relación $a/c=0.60$ tiene el mejor comportamiento ante la incidencia del fuego directo con respecto a las otras relaciones a/c estudiadas, ya que para los distintos tiempos de exposición y diferentes temperaturas alcanzadas presenta los menores porcentajes de pérdidas, para los diferentes tiempos de exposición. El concreto de relación $a/c=0.65$ presenta un mejor comportamiento inicial con respecto al concreto de relación $a/c=0.70$ en la resistencia a la compresión, es decir presenta un menor porcentaje de pérdida de resistencia en la 1° hora de exposición, luego se invierte este comportamiento resultando la relación $a/c=0.70$ la menos afectada por la incidencia del fuego directo para la 2° y 3° hora de exposición.
- En la resistencia a la tracción el concreto de relación $a/c=0.65$ tiene un mejor comportamiento en la fase inicial que el concreto de relación $a/c=0.60$, es decir presenta un menor porcentaje de pérdida de resistencia en la 1° hora de exposición, luego se invierte este comportamiento resultando la relación $a/c=0.60$ con el mejor comportamiento ante la incidencia del fuego directo para la 2° y 3° hora de exposición. El concreto de relación $a/c=0.70$ tiene el peor comportamiento ante la incidencia del fuego directo en la resistencia a la tracción, ya que para los distintos tiempos de exposición y diferentes temperaturas alcanzadas presenta los mayores porcentajes de pérdidas.
- Respecto al módulo de elasticidad el concreto de relación $a/c=0.60$ tiene el mejor comportamiento ante la incidencia del fuego directo, ya que para los distintos tiempos de exposición y diferentes temperaturas alcanzadas presenta los menores porcentajes de pérdidas en el valor del módulo elástico. El concreto de relación $a/c=0.70$ presenta un mejor comportamiento inicial con respecto al concreto de relación $a/c=0.65$, es decir presenta un menor porcentaje de pérdida en el módulo de elasticidad

en la 1° y 2° hora de exposición, luego se invierte este comportamiento resultando la relación $a/c=0.65$ la menos afectada por la incidencia del fuego directo para la 3° hora de exposición.

- El porcentaje de pérdida en la resistencia a la compresión en probetas de 4"x 8" fue mayor al de las probetas de 6"x 12", para las tres relaciones a/c estudiadas. La resistencia a la compresión en probetas de 4"x 8" fue en promedio mayor al de las probetas de 6"x 12", para las diferentes relaciones a/c estudiadas, hasta de un 18% más para la relación $a/c=0.70$.
- Para la relación $a/c=0.60$, la pérdida de masa (%) en las probetas de 6"x 12" fueron valores superiores a los de las probetas de 4"x 8". Para la relación $a/c=0.65$, la pérdida de masa (%) en las probetas de 4"x 8" fueron valores ligeramente mayores a los de las probetas de 6"x 12", con excepción para la 2° hora de exposición. Para la relación $a/c=0.70$, la pérdida de masa (%) en las probetas de 6"x 12" fueron valores ligeramente mayores a los de las probetas de 4"x 8". Para probetas de 4"x 8", el concreto de relación $a/c=0.60$ sufrió la menor pérdida de masa, en cambio para probetas de 6"x 12", el concreto de relación $a/c=0.65$ sufrió la menor pérdida de masa. Para ambos tamaños de probeta el concreto de relación $a/c=0.70$ sufrió la mayor pérdida de masa para los diferentes tiempos de exposición.
- Acerca del valor de la relación $T/f_c(\%)$, el concreto de $a/c=0.60$ durante la 1° y 2° hora de exposición al fuego directo, pierde más resistencia en tracción que en compresión y luego para la 3° hora se invierte este comportamiento, perdiendo más resistencia en compresión que en tracción. El concreto de $a/c=0.65$ para los tres tiempos de exposición, pierde más resistencia en compresión que en tracción, haciéndolo en mayor grado para la 2° hora de exposición. El concreto de $a/c=0.70$ para los tres tiempos de exposición, pierde más resistencia en compresión que en tracción, haciéndolo en mayor grado para la 1° hora de exposición.
- Respecto al grado de fisuración de las muestras (ver anexo E), tanto en probetas de 4"x 8" como de 6"x 12", así como también para las tres relaciones a/c , han seguido el mismo patrón de variación. Para muestras de 1h de exposición, la fisuración ha sido casi imperceptible simple vista; para muestras de 2h de exposición, la fisuración ha sido moderada; para muestras de 3h de exposición, la fisuración ha sido severa, generando en

algunos casos desprendimiento de los componentes del concreto, debido a la abertura de las fisuras y/o grietas.

- Respecto a la coloración de las muestras (ver anexo E), tanto en probetas de 4"x 8" como de 6"x 12", así como también para las tres relaciones a/c, han seguido el mismo patrón de variación. Para muestras de 1h de exposición, la coloración ha sido un gris claro y rojizo oscuro; para muestras de 2h de exposición, la coloración ha sido un marrón claro y rojizo claro; para muestras de 3h de exposición, la coloración ha sido una combinación de un plomo claro y un marrón claro.

5.2. Recomendaciones

- Todos los ensayos deben ser estrictamente controlados, en aspectos como la temperatura del ambiente y la humedad relativa, además de las temperaturas de todos los materiales involucrados. Realizar todos los ensayos dentro de un lugar cerrado, en un laboratorio donde se controlen todas las características.
- Mantener un buen control de la temperatura, de los tiempos de exposición y permanencia que se requieren en cada ensayo.
- Usar implementos adecuados de seguridad y herramientas que permitan el manejo y control de probetas a altas temperaturas durante el proceso de quemado de muestras.
- Asegurar y controlar el descenso progresivo de la temperatura en los grupos de muestras quemadas.
- Investigar el comportamiento en concretos de alta resistencia y concretos con aditivos sometidos a fuego directo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM International. ASTM C39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Standard, ASTM International. West Conshohocken, USA. 2012.
2. ASTM International. ASTM E119-05a. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. Standard, ASTM International. West Conshohocken, USA. 2005.
3. CANOVAS, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. Ed. PINI. São Paulo, 1988.
4. CRUZ HERNANDEZ, R. A. Physical and Mechanical Characterization of Concrete Exposed to Elevated Temperatures by Using Ultrasonic Pulse Velocity. Rev.fac.ing.univ. Antioquia. Colombia, 2015.
5. DELGADO POMA C. W. Comportamiento de las Resistencias Mecánicas del Concreto Sometidas a Altas Temperaturas. Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, 1996.
6. European Committee for Standardization. EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-2: General Actions-Actions on Structures Exposed to Fire. European Standard, European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2002.
7. International Organization for Standardization. ISO 834-1: 1999. Fire Resistance Tests-Elements of Building Construction. Standard, International Organization for Standardization (ISO). USA. 1999.
8. NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 2a Ed. PINI. São Paulo, 1997.
9. SOUZA, A. A. A., MORENO JR, A. L. Assessment of the influence of the type of aggregates and rehydration on concrete submitted to high temperatures. IBRACON Estruturas and Materials Journal. Brasil, 2010.
10. SOUZA, A. A. A., MORENO Jr, A. L. The Effect of High Temperatures on Concrete Compression Strength, Tensile Strength and Deformation Modulus. IBRACON Estruturas and Materials Journal. Brasil, 2010.
11. UDDIN, T., CULVER, C G. Effects of Elevated Temperature on Structural Member. Journal of the Structural Division. USA, 1975.

ANEXOS

**Anexo A - Curvas Esfuerzo-Deformación en el ensayo
del módulo de Elasticidad**

Anexo B - Informe de ensayos a compresión

Anexo C - Informe de ensayos a Tracción

Anexo D - Informe de ensayos del Módulo Elástico

Anexo E - Panel fotográfico

Anexo F - Hoja Técnica del Termómetro IR-TP7

Anexo A - Curvas Esfuerzo- Deformación en el ensayo del módulo de Elasticidad

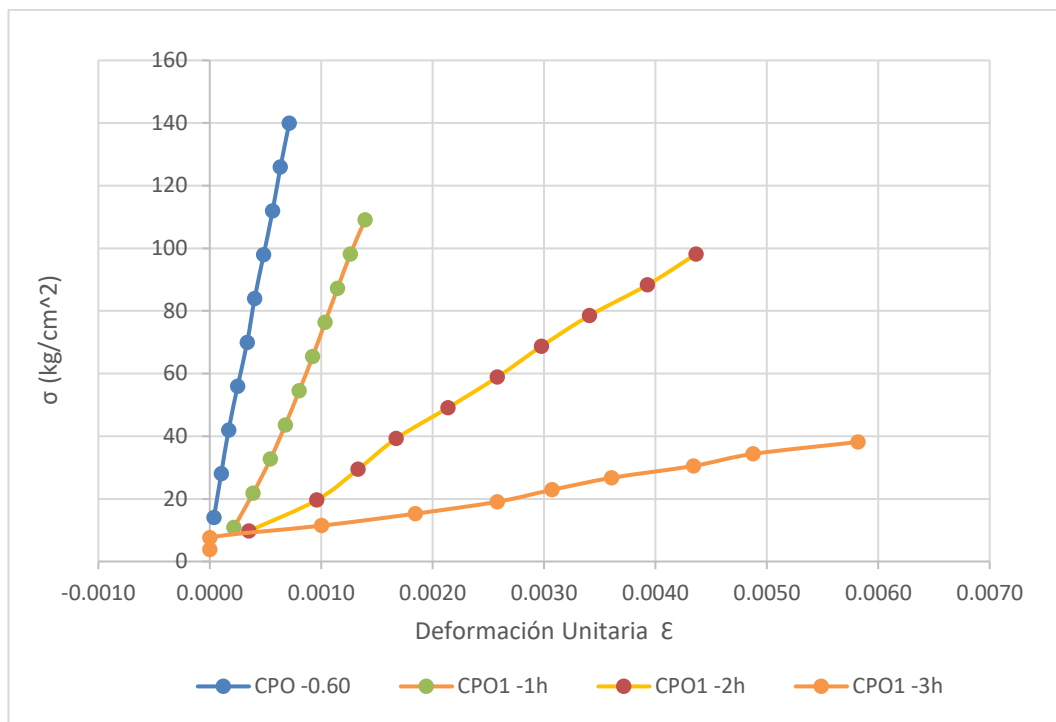


FIGURA A.1 Curvas de Esfuerzo - Deformación para el concreto de a/c=0.60.

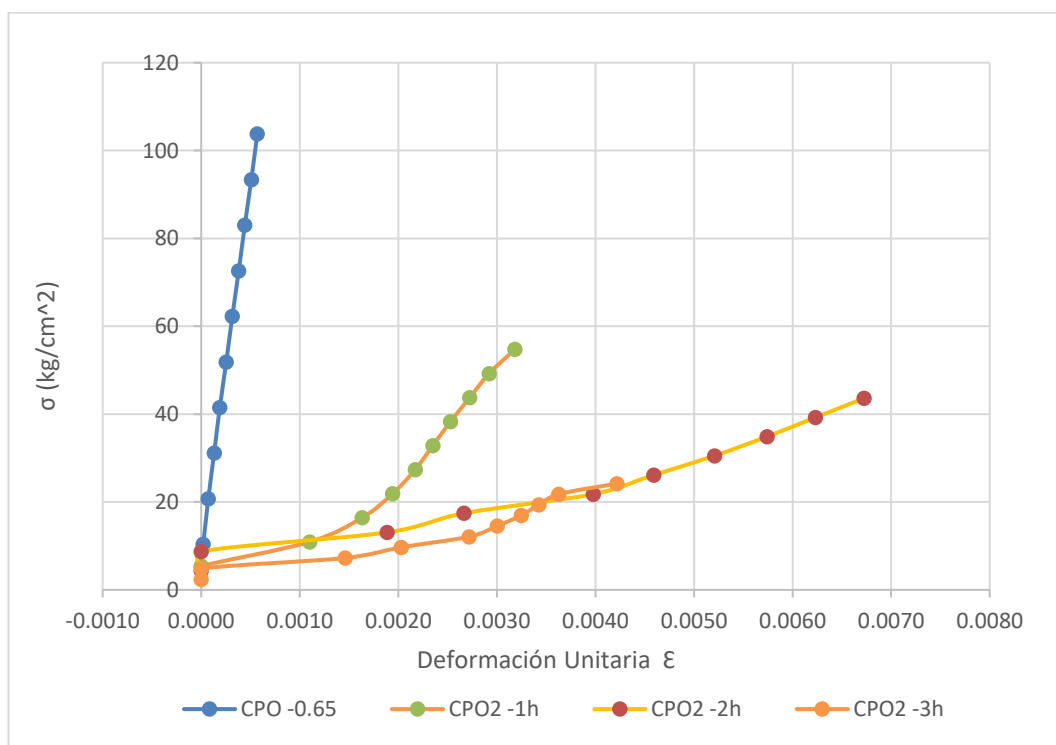


FIGURA A.2 Curvas de Esfuerzo - Deformación para el concreto de a/c=0.65.

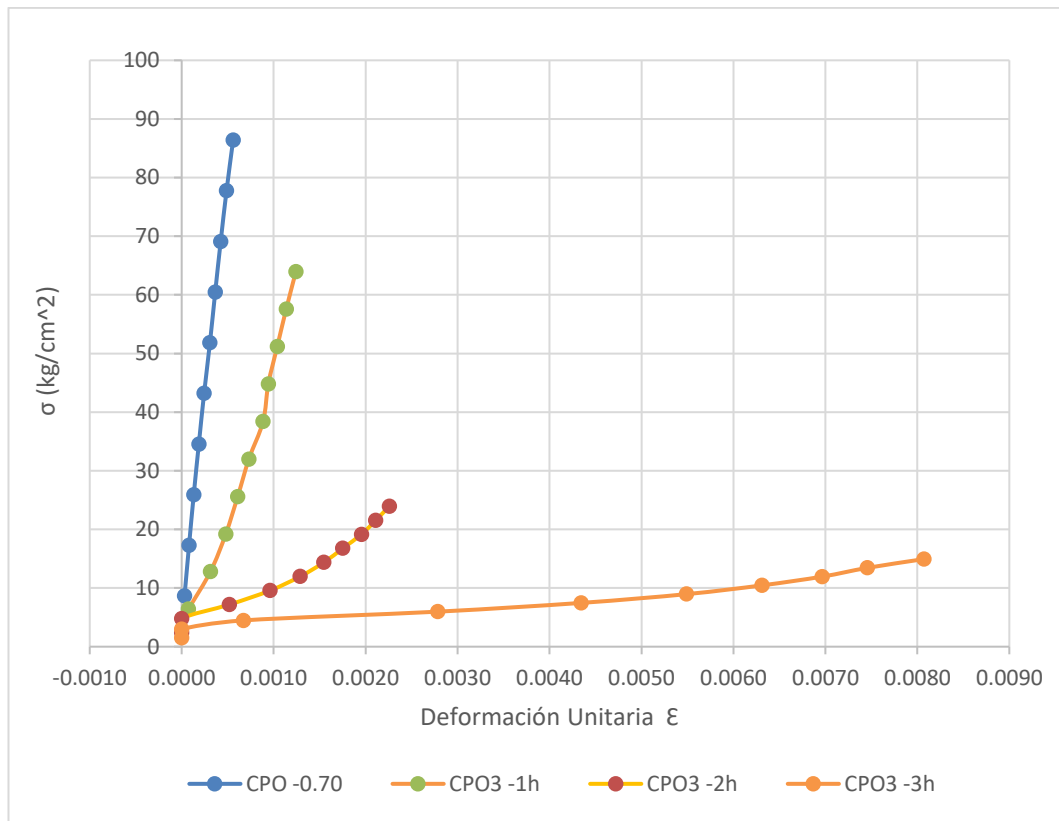


FIGURA A.3 Curvas de Esfuerzo - Deformación para los concretos de a/c=0.70.

Anexo B - Informe de ensayos a compresión

Edad :	42 días			a/c=0.60						
CPC -0.60 -PATRON										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	28412.2	10.19	10.18	10.19	81.47	348.73	-	-	-	
2	26447.3	10.10	10.12	10.11	80.28	329.45	-	-	-	
3	29178.6	10.10	10.12	10.11	80.28	363.47	-	-	-	
4	30321.5	10.12	10.12	10.12	80.44	376.96	-	-	-	
5	28863.1	10.15	10.15	10.15	80.91	356.71	-	-	-	
6	28811.6	10.17	10.20	10.19	81.47	353.64	-	-	-	
7	30170.5	10.12	10.13	10.13	80.52	374.72	-	-	-	
8	30476.4	10.13	10.12	10.13	80.52	378.52	-	-	-	
9	31301.0	10.11	10.12	10.12	80.36	389.53	-	-	-	
10	29265.6	10.12	10.15	10.14	80.67	362.76	-	-	-	
11	28638.8	10.15	10.20	10.18	81.31	352.21	-	-	-	
12	28582.9	10.15	10.20	10.18	81.31	351.52	-	-	-	
13	27183.3	10.15	10.15	10.15	80.91	335.95	-	-	-	
14	28209.2	10.16	10.15	10.16	80.99	348.29	-	-	-	
15	28431.0	10.12	10.15	10.14	80.67	352.42	-	-	-	
	Prom.=	10.14	10.15	10.14	80.81	358.32			-	
CTC1 -0.60										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	22205.7	10.10	10.20	10.15	80.91	274.44	4084.00	3914.50	169.50	
2	24878.3	10.10	10.20	10.15	80.91	307.47	4003.50	3796.30	207.20	
3	23836.8	10.18	10.25	10.22	81.95	290.86	4034.50	3779.20	255.30	
4	22936.4	10.15	10.20	10.18	81.31	282.08	3973.50	3779.10	194.40	
5	21644.5	10.05	10.30	10.18	81.31	266.19	4074.00	3844.50	229.50	
6	23198.3	10.10	10.50	10.30	83.32	278.41	4065.00	3824.60	240.40	
7	22111.1	10.10	10.20	10.15	80.91	273.27	3934.50	3719.20	215.30	
8	23574.6	10.20	10.50	10.35	84.13	280.20	4022.00	3806.40	215.60	
9	23317.3	10.08	10.15	10.12	80.36	290.17	4003.00	3781.00	222.00	
10	23861.4	10.20	10.45	10.33	83.73	284.99	4003.00	3778.70	224.30	
11	24438.5	10.05	10.20	10.13	80.52	303.53	4050.50	3857.90	192.60	
12	22470.6	10.25	10.10	10.18	81.31	276.35	3949.50	3758.10	191.40	
13	23824.3	10.15	10.15	10.15	80.91	294.44	3977.50	3732.10	245.40	
14	23056.7	10.20	10.15	10.18	81.31	283.56	3954.50	3752.70	201.80	
15	23339.1	10.15	10.30	10.23	82.11	284.23	4074.00	3853.90	220.10	
	Prom.=	10.14	10.26	10.20	81.67	284.68	4013.53		214.99	
CTC2 -0.60										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	21692.0	10.30	10.25	10.28	82.92	261.61	4187.00	3935.50	251.50	
2	22059.9	10.25	10.10	10.18	81.31	271.30	3990.00	3747.20	242.80	
3	19455.7	10.20	10.10	10.15	80.91	240.45	3927.00	3668.20	258.80	
4	21314.7	10.25	10.15	10.20	81.71	260.85	3980.50	3702.60	277.90	
5	23143.9	10.40	10.10	10.25	82.52	280.48	3977.00	3714.20	262.80	
6	19023.6	10.20	10.10	10.15	80.91	235.11	3975.50	3707.00	268.50	
7	19811.4	10.20	10.05	10.13	80.52	246.06	3966.50	3707.80	258.70	
8	21917.5	10.30	10.20	10.25	82.52	265.62	3986.50	3726.80	259.70	
9	19542.5	10.20	10.15	10.18	81.31	240.34	3945.00	3682.60	262.40	
10	16221.4	10.30	10.10	10.20	81.71	198.52	4057.50	3748.00	309.50	
11	23019.0	10.25	10.15	10.20	81.71	281.71	3997.70	3715.40	282.30	
12	17538.2	10.15	10.05	10.10	80.12	218.90	3994.20	3700.20	294.00	
13	18618.2	10.30	10.25	10.28	82.92	224.54	4119.90	3631.90	488.00	
14	12252.1	10.15	10.05	10.10	80.12	152.92	4014.10	3737.70	276.40	
15	22223.7	10.20	10.20	10.20	81.71	271.97	4041.30	3774.60	266.70	
	Prom.=	10.24	10.13	10.19	81.53	243.36	4010.65		284.00	
CTC3 -0.60										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	8825.1	10.20	10.10	10.15	80.91	109.07	3972.30	3636.10	336.20	
2	8530.3	10.30	10.15	10.23	82.11	103.88	4028.50	3706.50	322.00	
3	5431.7	10.21	10.12	10.17	81.15	66.93	3978.00	3639.80	338.20	
4	8883.2	10.15	10.10	10.13	80.52	110.33	3969.30	3640.50	328.80	
5	7814.4	10.10	10.15	10.13	80.52	97.05	3980.50	3657.80	322.70	
6	9116.4	10.25	10.30	10.28	82.92	109.94	4162.70	3818.70	344.00	
7	9264.0	10.20	10.10	10.15	80.91	114.49	3972.60	3635.80	336.80	
8	9505.4	10.25	10.15	10.20	81.71	116.33	4035.80	3696.60	339.20	
9	6974.7	10.15	10.10	10.13	80.52	86.63	3966.10	3631.30	334.80	
10	7250.8	10.22	10.20	10.21	81.87	88.56	3934.10	3591.20	342.90	
11	9607.0	10.40	10.25	10.33	83.73	114.74	4027.40	3704.80	322.60	
12	9217.5	10.20	10.10	10.15	80.91	113.92	3984.20	3665.00	319.20	
13	7272.1	10.25	10.30	10.28	82.92	87.70	4099.90	3761.00	338.90	
14	8720.3	10.25	10.10	10.18	81.31	107.24	3988.60	3649.60	339.00	
15	8464.0	10.15	10.10	10.13	80.52	105.12	3992.00	3662.70	329.30	
	Prom.=	10.22	10.15	10.19	81.50	102.13	4006.13		332.97	

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Edad :	42 días			a/c=0.65						
CPC -0.65 -PATRON										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	22331.3	10.20	10.10	10.15	80.91	275.99	3903.10	-	-	
2	22273.7	10.30	10.10	10.20	81.71	272.59	3893.40	-	-	
3	27965.2	10.23	10.10	10.17	81.15	344.60	3945.30	-	-	
4	22248.6	10.20	10.10	10.15	80.91	274.97	3873.90	-	-	
5	25964.0	10.25	10.10	10.18	81.31	319.31	3891.30	-	-	
6	26845.0	10.25	10.10	10.18	81.31	330.14	4020.80	-	-	
7	22612.8	10.21	10.10	10.16	80.99	279.19	3882.40	-	-	
8	24023.5	10.20	10.10	10.15	80.91	296.90	3907.00	-	-	
9	28200.4	10.25	10.10	10.18	81.31	346.81	3908.10	-	-	
10	28168.6	10.21	10.05	10.13	80.60	349.51	4061.00	-	-	
11	27654.1	10.25	10.10	10.18	81.31	340.10	3910.30	-	-	
12	27653.4	10.30	10.10	10.20	81.71	338.42	4103.50	-	-	
13	22860.8	10.20	10.10	10.15	80.91	282.53	4035.60	-	-	
14	29283.6	10.32	10.10	10.21	81.87	357.67	3920.80	-	-	
15	24805.5	10.20	10.12	10.16	81.07	305.96	3895.50	-	-	
	Prom.=	10.24	10.10	10.17	81.20	314.31	3943.47			
CTC1 -0.65										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	Explotó									
2	15034.8	10.30	10.12	10.21	81.87	183.64	3911.00	3579.00	332.00	
3	10987.4	10.25	10.12	10.19	81.47	134.86	3875.60	3528.60	347.00	
4	10830.6	10.10	10.18	10.14	80.75	134.12	3915.20	3576.60	338.60	
5	15431.7	10.25	10.12	10.19	81.47	189.41	3942.20	3617.20	325.00	
6	Explotó									
7	16722.0	10.25	10.05	10.15	80.91	206.66	4015.20	3683.00	332.20	
8	Explotó									
9	10698.2	10.22	10.08	10.15	80.91	132.22	4015.80	3696.30	319.50	
10	22155.5	10.25	10.05	10.15	80.91	273.82	3993.20	3681.20	312.00	
11	15364.2	10.22	10.08	10.15	80.91	189.88	4016.50	3693.30	323.20	
12	9295.7	10.30	10.18	10.24	82.35	112.87	3939.90	3621.40	318.50	
13	6586.6	10.25	10.15	10.20	81.71	80.61	3981.50	3593.40	388.10	
14	10271.2	10.22	10.22	10.22	82.03	125.21	3921.60	3577.90	343.70	
15	9610.5	10.30	10.15	10.23	82.11	117.04	3889.80	3559.60	330.20	
	Prom.=	10.24	10.13	10.18	81.45	156.69	3951.46		334.17	
CTC2 -0.65										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	3927.8	10.25	10.10	10.18	81.31	48.30	4002.00	3595.50	406.50	
2	6278.1	10.28	10.20	10.24	82.35	76.23	4005.20	3634.50	370.70	
3	5702.4	10.20	10.20	10.20	81.71	69.79	4028.10	3613.80	414.30	
4	5806.7	10.25	10.20	10.23	82.11	70.72	3984.20	3607.70	376.50	
5	6489.0	10.20	10.10	10.15	80.91	80.20	4119.70	3643.30	476.40	
6	5149.7	10.22	10.08	10.15	80.91	63.64	3986.20	3651.80	334.40	
7	5091.4	10.20	10.08	10.14	80.75	63.05	3996.80	3605.60	391.20	
8	7607.3	10.25	10.25	10.25	82.52	92.19	3990.00	3730.60	259.40	
9	5364.7	10.31	10.12	10.22	81.95	65.46	4100.20	3675.50	424.70	
10	5103.1	10.25	10.10	10.18	81.31	62.76	3906.70	3646.80	259.90	
11	4129.3	10.22	10.10	10.16	81.07	50.93	4007.80	3666.10	341.70	
12	4533.7	10.35	10.10	10.23	82.11	55.21	3890.00	3654.00	236.00	
13	4949.3	10.25	10.15	10.20	81.71	60.57	3875.50	3533.00	342.50	
14	4950.3	10.30	10.10	10.20	81.71	60.58	4043.50	3675.30	368.20	
15	Explotó									
	Prom.=	10.25	10.13	10.19	81.61	65.69	3995.42		357.31	
CTC3 -0.65										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	5969.6	10.30	10.15	10.23	82.11	72.70	3976.90	3506.90	470.00	
2	5220.5	10.50	10.20	10.35	84.13	62.05	4029.20	3483.50	545.70	
3	4110.0	10.25	10.10	10.18	81.31	50.55	4006.90	3601.50	405.40	
4	3120.0	10.32	10.15	10.24	82.27	37.92	3904.10	3519.00	385.10	
5	3250.0	10.25	10.20	10.23	82.11	39.58	4013.60	3604.20	409.40	
6	6116.1	10.40	10.25	10.33	83.73	73.05	4069.10	3717.60	351.50	
7	5077.7	10.25	10.10	10.18	81.31	62.45	4039.70	3627.10	412.60	
8	2613.6	10.25	10.10	10.18	81.31	32.14	4110.40	3619.40	491.00	
9	3700.8	10.25	10.20	10.23	82.11	45.07	4040.80	3602.30	438.50	
10	3800.7	10.22	10.10	10.16	81.07	46.88	3990.60	3613.40	377.20	
11	3935.9	10.25	10.10	10.18	81.31	48.40	4000.00	3578.00	422.00	
12	3877.8	10.30	10.30	10.30	83.32	46.54	3962.60	3695.90	266.70	
13	3353.9	10.30	10.10	10.20	81.71	41.04	4057.50	3614.80	442.70	
14	Perdió una parte									
15	Perdió una parte									
	Prom.=	10.30	10.16	10.23	82.14	50.64	4015.49		416.75	

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Edad :	42 días	a/c=0.70								
CPC -0.70 -PATRON										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	20725.8	10.22	10.08	10.15	80.91	256.15	3887.90	-	-	
2	20602.4	10.30	10.05	10.18	81.31	253.37	3908.10	-	-	
3	20595.9	10.32	10.07	10.20	81.63	252.30	3899.60	-	-	
4	22495.1	10.25	10.05	10.15	80.91	278.01	3891.50	-	-	
5	21250.7	10.20	10.05	10.13	80.52	263.93	3878.20	-	-	
6	20956.1	10.30	10.20	10.25	82.52	253.96	4011.70	-	-	
7	18671.8	10.32	10.10	10.21	81.87	228.06	3954.40	-	-	
8	19636.9	10.35	10.20	10.28	82.92	236.82	3999.00	-	-	
9	21975.1	10.26	10.05	10.16	80.99	271.32	3890.80	-	-	
10	21675.6	10.20	10.05	10.13	80.52	269.21	3906.90	-	-	
11	21110.8	10.30	10.22	10.26	82.68	255.34	3999.40	-	-	
12	21616.1	10.20	10.05	10.13	80.52	268.47	3879.80	-	-	
13	19625.4	10.38	10.05	10.22	81.95	239.47	3891.70	-	-	
14	21143.2	10.25	10.05	10.15	80.91	261.31	3903.40	-	-	
15	22153.0	10.30	10.10	10.20	81.71	271.11	4008.70	-	-	
	Prom.=	10.28	10.09	10.18	81.46	257.26	3927.41		-	
CTC1 -0.70										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	6845.0	10.23	10.07	10.15	80.91	84.60	3897.70	3548.90	348.80	
2	10660.0	10.22	10.08	10.15	80.91	131.75	3891.40	3541.10	350.30	
3	10123.4	10.21	10.18	10.20	81.63	124.01	3978.10	3602.70	375.40	
4	7601.1	10.22	10.10	10.16	81.07	93.76	3932.30	3543.90	388.40	
5	15280.5	10.26	10.05	10.16	80.99	188.66	3912.70	3578.40	334.30	
6	12788.0	10.40	10.11	10.26	82.60	154.83	3936.00	3585.10	350.90	
7	10499.3	10.26	10.11	10.19	81.47	128.87	3911.20	3519.70	391.50	
8	7485.6	10.15	10.05	10.10	80.12	93.43	3903.10	3528.10	375.00	
9	9119.1	10.25	10.41	10.33	83.81	108.81	3994.30	3605.30	389.00	
10	9727.1	10.22	10.10	10.16	81.07	119.98	3940.10	3571.20	368.90	
11	5656.9	10.22	10.07	10.15	80.83	69.98	3882.70	3522.30	360.40	
12	7598.1	10.19	10.10	10.15	80.83	94.00	3930.90	3551.50	379.40	
13	8939.9	10.21	10.07	10.14	80.75	110.70	3925.20	3578.00	347.20	
14	11796.7	10.23	10.05	10.14	80.75	146.08	3897.20	3559.00	338.20	
15	12201.1	10.22	10.08	10.15	80.91	150.79	3891.20	3527.40	363.80	
	Prom.=	10.23	10.11	10.17	81.25	120.02	3921.61		364.10	
CTC2 -0.70										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	6920.5	10.23	10.10	10.17	81.15	85.28	3902.20	3545.80	356.40	
2	6574.4	10.28	10.33	10.31	83.40	78.83	3916.60	3558.10	358.50	
3	7123.9	10.25	10.14	10.20	81.63	87.27	3901.00	3468.70	432.30	
4	5765.9	10.37	10.35	10.36	84.30	68.40	3931.10	3648.80	282.30	
5	5259.2	10.33	10.20	10.27	82.76	63.55	3919.70	3458.40	461.30	
6	4739.5	10.23	10.29	10.26	82.68	57.33	3906.40	3428.40	478.00	
7	5492.0	10.27	10.29	10.28	83.00	66.17	3918.50	3548.40	370.10	
8	4762.2	10.24	10.13	10.19	81.47	58.45	3933.60	3433.60	500.00	
9	4200.0	10.27	10.13	10.20	81.71	51.40	3859.50	3479.40	380.10	
10	6667.1	10.30	10.13	10.22	81.95	81.35	3872.90	3523.00	349.90	
11	5199.9	10.12	10.23	10.18	81.31	63.95	3895.70	3523.70	372.00	
12	5661.2	10.25	10.18	10.22	81.95	69.08	3945.00	3501.40	443.60	
13	6599.8	10.28	10.27	10.28	82.92	79.59	3851.60	3473.10	378.50	
14	7152.7	10.28	10.17	10.23	82.11	87.11	4080.10	3524.40	555.70	
15	Explotó									
	Prom.=	10.26	10.21	10.24	82.31	71.27	3916.71		408.48	
CTC3 -0.70										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	F'c (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	5198.0	10.36	10.30	10.33	83.81	62.02	4038.00	3518.20	519.80	
2	4191.9	10.27	10.32	10.30	83.24	50.36	4023.40	3426.60	596.80	
3	4655.2	10.40	10.46	10.43	85.44	54.49	4009.20	3598.60	410.60	
4	4552.7	10.26	10.18	10.22	82.03	55.50	3972.80	3449.40	523.40	
5	3886.1	10.33	10.32	10.33	83.73	46.41	3945.80	3560.30	385.50	
6	5017.3	10.63	10.29	10.46	85.93	58.39	3874.80	3509.70	365.10	
7	4203.1	10.44	10.37	10.41	85.03	49.43	3883.20	3581.70	301.50	
8	3000.0	10.24	10.33	10.29	83.08	36.11	3977.80	3503.90	473.90	
9	2968.0	10.27	10.30	10.29	83.08	35.72	3959.80	3498.30	461.50	
10	3880.9	10.38	10.27	10.33	83.73	46.35	4045.60	3507.80	537.80	
11	2394.7	10.18	10.17	10.18	81.31	29.45	3987.10	3458.70	528.40	
12	3041.1	10.31	10.42	10.37	84.38	36.04	4017.30	3520.30	497.00	
13	3338.5	10.28	10.25	10.27	82.76	40.34	3909.00	3519.60	389.40	
14	3722.3	10.30	10.32	10.31	83.48	44.59	3981.10	3598.00	383.10	
15	2328.7	10.13	10.29	10.21	81.87	28.44	3984.60	3470.90	513.70	
	Prom.=	10.32	10.31	10.31	83.53	44.91	3973.97		459.17	

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Anexo C - Informe de ensayos a Tracción

Edad :	42 días	a/c=0.60								
CPT -0.60 -PATRON										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	12300.0	10.20	10.20	10.20	81.71	39.78	-	-	-	
2	14200.0	10.40	10.20	10.30	83.32	41.79	-	-	-	
3	15586.9	10.20	10.10	10.15	80.91	46.78	-	-	-	
4	14410.2	10.25	10.25	10.25	82.52	42.82	-	-	-	
5	12949.1	10.25	10.10	10.18	81.31	38.95	-	-	-	
6	13474.8	10.25	10.25	10.25	82.52	40.43	-	-	-	
7	14687.9	10.20	10.10	10.15	80.91	46.06	-	-	-	
8	14487.0	10.30	10.15	10.23	82.11	43.47	-	-	-	
9	12964.5	10.20	10.08	10.14	80.75	39.28	-	-	-	
10	14742.6	10.20	10.20	10.20	81.71	43.98	-	-	-	
11	12156.3	10.21	10.25	10.23	82.19	36.20	-	-	-	
12	13400.2	10.20	10.20	10.20	81.71	40.21	-	-	-	
13	14008.8	10.20	10.10	10.15	80.91	42.04	-	-	-	
14	15131.5	10.25	10.25	10.25	82.52	45.18	-	-	-	
15	14670.0	10.15	10.10	10.13	80.52	44.35	-	-	-	
Prom.=		10.23	10.17	10.20	81.71	42.09	-	-	-	
CTT1 -0.60										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	12250.0	10.10	10.10	10.10	80.12	37.30	3965.60	3676.30	289.30	
2	9800.0	10.10	10.25	10.18	81.31	29.62	3978.20	3677.90	300.30	
3	12450.0	10.00	10.15	10.08	79.72	37.64	4004.80	3715.60	289.20	
4	12800.0	10.05	10.20	10.13	80.52	38.51	4031.50	3721.70	309.80	
5	9700.0	10.05	10.20	10.13	80.52	29.32	3941.80	3640.00	301.80	
6	9650.0	10.15	10.20	10.18	81.31	29.17	4112.10	3803.90	308.20	
7	10650.0	9.90	10.10	10.00	78.54	33.90	4008.20	3710.20	298.00	
8	11000.0	9.90	10.10	10.00	78.54	33.75	4015.80	3720.30	295.50	
9	10850.0	9.90	10.10	10.00	78.54	33.34	3998.90	3701.80	297.10	
10	9100.0	9.90	10.10	10.00	78.54	27.69	4012.50	3708.90	303.60	
11	9700.0	10.20	10.35	10.28	82.92	28.76	4108.60	3790.00	318.60	
12	10400.0	10.25	10.30	10.28	82.92	30.98	4100.00	3792.40	307.60	
13	10000.0	10.10	10.25	10.18	81.31	29.94	3985.00	3683.80	301.20	
14	10750.0	10.00	10.20	10.10	80.12	32.58	3983.00	3694.30	288.70	
15	9000.0	10.30	10.20	10.25	82.52	26.87	3975.10	3672.30	302.80	
Prom.=		10.06	10.19	10.12	80.50	31.96	4014.74		300.78	
CTT2 -0.60										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	7750.0	10.20	10.20	10.20	81.71	23.09	4105.00	3761.10	343.90	
2	11250.0	10.05	10.15	10.10	80.12	34.09	4028.90	3714.40	314.50	
3	11200.0	10.10	10.20	10.15	80.91	34.10	3992.30	3666.40	325.90	
4	9950.0	10.20	10.30	10.25	82.52	29.71	4138.20	3809.50	328.70	
5	7200.0	10.25	10.25	10.25	82.52	21.50	4109.70	3749.80	359.90	
6	7700.0	10.10	10.20	10.15	80.91	23.22	3965.20	3588.80	376.40	
7	8750.0	10.20	10.20	10.20	81.71	26.38	3992.80	3678.20	314.60	
8	Explotó									
9	Se rajó									
10	6750.0	10.30	10.30	10.30	83.32	20.01	4111.70	3781.30	330.40	
11	5500.0	10.25	10.20	10.23	82.11	16.42	4075.40	3705.00	370.40	
12	7550.0	10.30	10.20	10.25	82.52	22.44	4123.70	3775.40	348.30	
13	5350.0	10.30	10.60	10.45	85.77	15.52	4144.60	3772.90	371.70	
14	8750.0	10.15	10.25	10.20	81.71	26.38	4066.00	3682.90	383.10	
15	8900.0	10.22	10.22	10.22	82.03	26.65	4122.60	3796.50	326.10	
Prom.=		10.20	10.25	10.23	82.14	24.58	4075.08		345.68	
CTT3 -0.60										
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)	
1	5850.0	10.10	10.20	10.15	80.91	17.73	4124.40	3583.60	540.80	
2	3650.0	10.30	10.30	10.30	83.32	10.79	4035.00	3731.30	303.70	
3	5400.0	10.05	10.20	10.13	80.52	16.17	3988.70	3681.00	307.70	
4	6100.0	10.10	10.15	10.13	80.52	18.53	4019.20	3608.10	411.10	
5	7200.0	10.10	10.20	10.15	80.91	21.66	4109.90	3618.70	491.20	
6	4400.0	10.15	10.20	10.18	81.31	13.11	3980.20	3683.90	296.30	
7	5050.0	10.30	10.20	10.25	82.52	14.76	4005.20	3789.70	215.50	
8	5350.0	10.10	10.25	10.18	81.31	16.17	4066.80	3595.20	471.60	
9	3600.0	10.10	10.20	10.15	80.91	10.93	3945.10	3573.10	372.00	
10	6900.0	10.20	10.30	10.25	82.52	20.41	4085.20	3714.90	370.30	
11	8450.0	10.25	10.20	10.23	82.11	25.29	3968.70	3701.10	267.60	
12	4900.0	10.25	10.30	10.28	82.92	14.49	3963.70	3775.10	188.60	
13	5600.0	10.10	10.15	10.13	80.52	16.15	4066.80	3641.00	425.80	
14	Explotó									
15	Se rajó									
Prom.=		10.16	10.22	10.19	81.56	16.63	4027.61		358.63	

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Edad :	42 días			a/c=0.65					
CPT -0.65 -PATRON									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	10800.0	10.20	10.20	10.20	81.71	32.41	3919.60	-	-
2	14350.0	10.20	10.20	10.20	81.71	42.65	4046.30	-	-
3	13950.0	10.20	10.10	10.15	80.91	41.86	3965.20	-	-
4	11250.0	10.25	10.25	10.25	82.52	33.43	3916.60	-	-
5	12650.0	10.25	10.10	10.18	81.31	38.05	3898.20	-	-
6	10600.0	10.25	10.25	10.25	82.52	31.80	4082.20	-	-
7	13600.0	10.20	10.10	10.15	80.91	42.65	3929.90	-	-
8	12750.0	10.30	10.15	10.23	82.11	38.26	3902.80	-	-
9	15400.0	10.20	10.08	10.14	80.75	46.66	4024.00	-	-
10	11250.0	10.20	10.20	10.20	81.71	33.56	4009.90	-	-
11	13520.0	10.20	10.20	10.20	81.71	40.34	3929.50	-	-
12	13500.0	10.20	10.20	10.20	81.71	40.51	4026.30	-	-
13	14700.0	10.20	10.10	10.15	80.91	44.11	3927.90	-	-
14	15400.0	10.25	10.25	10.25	82.52	45.98	3974.30	-	-
15	12850.0	10.15	10.10	10.13	80.52	38.84	3929.00	-	-
	Prom.=	10.22	10.17	10.19	81.57	39.41	3965.45		-
CTT1 -0.65									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	15150.0	10.25	10.05	10.15	80.91	45.68	3970.20	3708.50	261.70
2	13250.0	10.25	10.05	10.15	80.91	39.67	4082.00	3805.50	276.50
3	12600.0	10.25	10.03	10.14	80.75	37.67	4037.80	3738.30	299.50
4	11400.0	10.25	10.07	10.16	81.07	34.34	4005.40	3686.70	318.70
5	7700.0	10.22	10.30	10.26	82.68	22.75	4128.80	3778.30	350.50
6	7200.0	10.23	10.08	10.16	80.99	21.58	4030.70	3691.70	339.00
7	9850.0	10.25	10.07	10.16	81.07	29.46	4035.80	3701.50	334.30
8	8150.0	10.21	10.05	10.13	80.60	24.74	3988.70	3654.80	333.90
9	10300.0	10.39	10.15	10.27	82.84	30.70	4054.10	3719.20	334.90
10	9400.0	10.22	10.05	10.14	80.67	28.32	4002.80	3678.00	324.80
11	8400.0	10.25	10.10	10.18	81.31	25.21	4013.60	3665.80	347.80
12	11850.0	10.35	10.22	10.29	83.08	34.85	4104.50	3741.90	362.60
13	7750.0	10.25	10.12	10.19	81.47	23.23	4025.90	3689.90	336.00
14	Explotó								
15	11050.0	10.30	10.05	10.18	81.31	33.16	4019.80	3726.70	293.10
	Prom.=	10.26	10.10	10.18	81.41	30.81	4035.72		322.38
CTT2 -0.65									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	4350.0	10.48	10.25	10.37	84.38	12.85	4006.80	3634.80	372.00
2	5500.0	10.25	10.15	10.20	81.71	16.39	3999.80	3579.50	420.30
3	4450.0	10.40	10.32	10.36	84.30	13.12	4162.20	3627.90	534.30
4	6900.0	10.22	10.10	10.16	81.07	20.74	4000.10	3668.40	331.70
5	6700.0	10.28	10.10	10.19	81.55	20.12	4014.90	3649.00	365.90
6	5750.0	10.22	10.10	10.16	81.07	17.32	3999.10	3614.00	385.10
7	4700.0	10.35	10.25	10.30	83.32	13.83	4107.30	3683.60	423.70
8	4800.0	10.20	10.28	10.24	82.35	14.42	3976.50	3617.80	358.70
9	5700.0	10.35	10.20	10.28	82.92	16.96	4065.90	3595.00	470.90
10	8000.0	10.30	10.25	10.28	82.92	23.22	3985.50	3789.20	196.30
11	5000.0	10.25	10.15	10.20	81.71	14.98	3962.90	3608.70	354.20
12	6250.0	10.30	10.35	10.33	83.73	18.31	3988.80	3734.40	254.40
13	Explotó								
14	7150.0	10.22	10.10	10.16	81.07	21.44	3982.10	3655.90	326.20
15	Explotó								
	Prom.=	10.30	10.19	10.25	82.44	17.21	4019.38		368.75
CTT3 -0.65									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	4450.0	10.30	10.22	10.26	82.68	13.35	3949.50	3531.10	418.40
2	4450.0	10.35	10.20	10.28	82.92	13.42	4072.20	3514.30	557.90
3	4400.0	10.45	10.20	10.33	83.73	13.07	4046.10	3663.40	382.70
4	4150.0	10.30	10.25	10.28	82.92	12.24	4051.70	3557.00	494.70
5	3950.0	10.32	10.32	10.32	83.65	11.60	3924.20	3638.40	285.80
6	4500.0	10.45	10.35	10.40	84.95	13.21	4030.70	3679.30	351.40
7	3000.0	10.50	10.22	10.36	84.30	8.95	4153.70	3559.80	593.90
8	4150.0	10.38	10.35	10.37	84.38	12.11	4006.70	3636.80	369.90
9	2200.0	10.35	10.38	10.37	84.38	6.73	4072.10	3632.00	440.10
10	3700.0	10.25	10.35	10.30	83.32	10.92	4067.10	3732.70	334.40
11	3900.0	10.30	10.20	10.25	82.52	11.59	3917.80	3624.50	293.30
12	3950.0	10.15	10.38	10.27	82.76	11.58	4059.90	3756.70	303.20
13	4050.0	10.34	10.30	10.32	83.65	11.90	4073.10	3662.00	411.10
14	4050.0	10.28	10.15	10.22	81.95	11.93	4132.40	3606.10	526.30
15	Explotó								
	Prom.=	10.34	10.29	10.31	83.55	11.61	4039.80		411.65

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Edad :	42 días	a/c=0.70							
CPT -0.70 -PATRON									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	9950.0	10.30	10.05	10.18	81.31	30.07	3823.00	-	-
2	13400.0	10.30	10.25	10.28	82.92	39.72	3984.50	-	-
3	11150.0	10.30	10.08	10.19	81.55	33.49	3857.50	-	-
4	11100.0	10.40	10.25	10.33	83.73	32.83	3966.00	-	-
5	11650.0	10.40	10.25	10.33	83.73	34.24	3984.00	-	-
6	10250.0	10.45	10.30	10.38	84.54	30.17	3987.00	-	-
7	11150.0	10.25	10.05	10.15	80.91	33.75	3808.00	-	-
8	11950.0	10.25	10.05	10.15	80.91	36.00	3843.00	-	-
9	10250.0	10.20	10.08	10.14	80.75	31.39	3815.50	-	-
10	11700.0	10.23	10.15	10.19	81.55	35.88	3820.50	-	-
11	10950.0	10.27	10.01	10.14	80.75	33.63	3840.50	-	-
12	10950.0	10.24	10.05	10.15	80.83	33.24	3844.00	-	-
13	10100.0	10.24	10.14	10.19	81.55	30.60	3793.50	-	-
14	12400.0	10.21	10.26	10.24	82.27	37.13	3977.50	-	-
15	12300.0	10.26	10.08	10.17	81.23	37.16	3865.50	-	-
Prom.=	10.29	10.14		10.21	81.90	33.95	3880.67		-
CTT1 -0.70									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	8550.0	10.38	10.24	10.31	83.48	25.30	3991.60	3657.50	334.10
2	9350.0	10.16	10.04	10.10	80.12	28.51	3820.10	3512.50	307.60
3	7900.0	10.35	10.13	10.24	82.35	23.92	3876.90	3555.50	321.40
4	9100.0	10.22	10.43	10.33	83.73	27.04	3942.80	3626.50	316.30
5	7200.0	10.26	10.29	10.28	82.92	21.38	4004.60	3626.50	378.10
6	8800.0	10.37	10.28	10.33	83.73	25.95	3994.70	3653.50	341.20
7	7400.0	10.04	10.12	10.12	80.44	22.59	3894.40	3511.00	383.40
8	5750.0	10.45	10.30	10.38	84.54	17.14	3889.90	3478.50	411.40
9	6650.0	10.25	10.65	10.45	85.77	19.62	3925.60	3554.00	371.60
10	7550.0	10.32	10.25	10.29	83.08	22.37	3971.10	3584.00	387.10
11	7200.0	10.33	10.35	10.34	83.97	21.23	3981.10	3595.50	385.60
12	8900.0	10.20	10.30	10.25	82.52	26.36	3919.30	3537.00	382.30
13	7250.0	10.18	10.10	10.14	80.75	22.04	3832.70	3482.50	350.20
14	8000.0	10.24	10.05	10.15	80.83	24.32	3856.30	3500.00	356.30
15	9000.0	10.22	10.36	10.29	83.16	26.90	3820.80	3484.00	336.80
Prom.=	10.26	10.26		10.26	82.76	23.64	3914.79		357.56
CTT2 -0.70									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	6850.0	10.24	10.01	10.13	80.52	20.72	3955.70	3518.00	437.70
2	3900.0	10.68	10.24	10.46	85.93	11.41	3853.60	3404.00	449.60
3	4700.0	10.20	10.16	10.18	81.39	14.19	3912.30	3440.00	472.30
4	3650.0	10.24	10.13	10.19	81.47	10.95	3898.70	3295.50	603.20
5	5450.0	10.90	10.10	10.50	86.59	15.89	3960.40	3448.00	512.40
6	4450.0	10.36	10.33	10.35	84.05	12.94	3904.00	3585.50	318.50
7	6250.0	10.24	10.13	10.19	81.47	18.60	3854.70	3566.00	288.70
8	4600.0	10.34	10.20	10.27	82.84	14.05	3881.20	3412.50	468.70
9	4750.0	10.31	10.18	10.25	82.44	14.07	3860.60	3491.00	369.60
10	2900.0	10.29	10.20	10.25	82.44	8.83	4027.50	3333.50	694.00
11	4200.0	10.10	10.33	10.22	81.95	12.60	3861.80	3534.00	327.80
12	4800.0	10.28	10.12	10.20	81.71	14.31	3823.70	3500.50	323.20
13	2600.0	10.26	10.10	10.18	81.39	7.79	3775.70	3435.00	340.70
14	2850.0	10.32	10.36	10.34	83.97	8.50	3854.10	3426.50	427.60
15	4700.0	10.22	10.10	10.16	81.07	11.37	3823.30	3455.50	367.80
Prom.=	10.33	10.18		10.26	82.61	13.08	3883.15		426.79
CTT3 -0.70									
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D.Prom (cm)	Área (cm2)	T (Kg/cm2)	m.i (gr)	m.f (gr)	Δ masa (gr)
1	2200.0	10.32	10.21	10.27	82.76	6.51	3854.10	3432.50	421.60
2	3000.0	10.36	10.18	10.27	82.84	8.92	3857.60	3469.50	388.10
3	3950.0	10.27	10.20	10.24	82.27	11.77	3965.20	3445.50	519.70
4	2400.0	10.30	10.08	10.19	81.55	7.24	3812.70	3400.00	412.70
5	2000.0	10.29	10.07	10.18	81.39	6.02	3869.30	3311.50	557.80
6	2250.0	10.28	10.11	10.20	81.63	6.74	3875.70	3395.00	480.70
7	2650.0	10.28	10.01	10.15	80.83	7.93	3926.40	3415.00	511.40
8	3800.0	10.21	10.05	10.13	80.60	11.50	3894.20	3391.50	502.70
9	1800.0	10.11	10.23	10.17	81.23	5.48	3918.10	3326.00	592.10
10	2350.0	10.24	10.12	10.18	81.39	7.02	3828.60	3404.50	424.10
11	2500.0	10.26	10.08	10.17	81.23	7.48	3816.70	3374.50	442.20
12	2250.0	10.40	10.26	10.33	83.81	6.64	3847.20	3498.00	349.20
13	2850.0	10.20	10.15	10.18	81.31	8.53	3840.90	3389.50	451.40
14	1800.0	10.18	10.22	10.20	81.71	5.46	3848.90	3345.50	503.40
15	2900.0	10.25	10.07	10.16	81.07	8.71	3867.10	3359.50	507.60
Prom.=	10.27	10.13		10.20	81.76	7.73	3868.18		470.98

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Anexo D - Informe de ensayos del Módulo Elástico

Edad :		42 días			a/c=0.60											
CPE -Patrón		Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm2)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
M1	58137.7	15.30	15.25	15.60	15.38	185.86	312.80	-	13647.00	-	-	30.40	-			
M2	-	15.25	15.30	15.60	15.38	185.86	-	-	13646.00	-	-	30.45	-			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CPE-0.60-M2	16.81	0.00005	186887												
		125.12	0.00063													
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	2600.0	0.0004	0.0005	0.0004	0.0011	13.99	0.00004	0.40	0.48							
2	5200.0	0.0012	0.0013	0.0012	0.0031	27.98	0.00010	1.18	1.28							
3	7800.0	0.0020	0.0021	0.0020	0.0051	41.97	0.00017	1.95	2.10							
4	10400.0	0.0029	0.0031	0.0030	0.0076	55.96	0.00025	2.90	3.10							
5	13000.0	0.0041	0.0040	0.0040	0.0102	69.94	0.00034	4.05	4.00							
6	15600.0	0.0048	0.0049	0.0048	0.0123	83.93	0.00040	4.78	4.87							
7	18200.0	0.0058	0.0058	0.0058	0.0147	97.92	0.00048	5.80	5.80							
8	20800.0	0.0068	0.0067	0.0068	0.0172	111.91	0.00056	6.82	6.70							
9	23400.0	0.0077	0.0075	0.0076	0.0193	125.90	0.00063	7.70	7.50							
10	26000.0	0.0088	0.0083	0.0086	0.0217	139.89	0.00071	8.80	8.30							
CTE -1 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm2)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
M1	48896.9	15.40	15.30	15.30	15.33	184.66	264.80	13614.00	12522.50	1091.50	31.00	31.10	0.10			
M2	-	15.30	15.45	15.10	15.28	183.45	-	13650.50	12642.00	1008.50	31.00	31.00	0.00			
								13632.25		1050.00			0.05			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE1-0.60-M2	0.31	0.00005	80886												
		105.92	0.00136													
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	2000.0	0.0025	0.0028	0.0027	0.0067	10.90	0.00022	2.50	2.80							
2	4000.0	0.0054	0.0041	0.0048	0.0121	21.80	0.00039	5.40	4.10							
3	6000.0	0.0075	0.0058	0.0067	0.0169	32.71	0.00054	7.50	5.80							
4	8000.0	0.0094	0.0072	0.0083	0.0210	43.61	0.00068	9.40	7.15							
5	10000.0	0.0113	0.0083	0.0098	0.0249	54.51	0.00080	11.30	8.30							
6	12000.0	0.0130	0.0096	0.0113	0.0286	65.41	0.00092	13.00	9.55							
7	14000.0	0.0146	0.0107	0.0126	0.0321	76.31	0.00103	14.60	10.65							
8	16000.0	0.0164	0.0116	0.0140	0.0356	87.22	0.00115	16.40	11.60							
9	18000.0	0.0181	0.0127	0.0154	0.0391	98.12	0.00126	18.10	12.70							
10	20000.0	0.0200	0.0140	0.0170	0.0432	109.02	0.00139	20.00	14.00							
CTE -2 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm2)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
1	41033.0	15.30	15.45	15.15	15.30	183.85	223.18	13579.50	12173.50	1406.00	-	-	-			
2	-	15.35	15.48	15.30	15.38	185.70	-	13512.00	12208.00	1304.00	31.15	31.20	0.05			
								13545.75		1355.00		31.20	0.05			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE2-0.60-M2	4.82	0.00005	21538												
		89.27	0.00397													
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	1800.0	0.0043	0.0043	0.0043	0.0109	9.69	0.00035	4.30	4.29							
2	3600.0	0.0118	0.0118	0.0118	0.0300	19.62	0.00096	11.80	11.80							
3	5400.0	0.0164	0.0164	0.0164	0.0415	29.44	0.00133	16.35	16.35							
4	7200.0	0.0206	0.0206	0.0206	0.0522	39.25	0.00167	20.55	20.55							
5	9000.0	0.0263	0.0263	0.0263	0.0667	49.06	0.00214	26.25	26.25							
6	10800.0	0.0317	0.0317	0.0317	0.0805	58.87	0.00258	31.70	31.70							
7	12600.0	0.0366	0.0366	0.0366	0.0928	68.68	0.00298	36.55	36.55							
8	14400.0	0.0419	0.0419	0.0419	0.1063	78.49	0.00341	41.85	41.85							
9	16200.0	0.0483	0.0483	0.0483	0.1226	88.31	0.00393	48.25	48.25							
10	18000.0	0.0536	0.0536	0.0536	0.1361	98.12	0.00436	53.60	53.60							
CTE -3 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm2)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
1	21151.1	15.30	15.35	15.45	15.37	185.46	114.05	-	-	-	30.90	31.10	0.20			
2	-	15.30	15.45	15.45	15.40	186.27	-	13839.50	12199.50	1640.00	31.00	31.00	0.00			
								13839.50		1640.00		31.05	0.10			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE3-0.60-M2	7.82	0.00005	4966.7												
		45.62	0.00766													
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	700.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.82	0.00000	0.00	0.00							
2	1400.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.63	0.00000	0.00	0.00							
3	2100.0	0.0125	0.0120	0.0123	0.0311	11.45	0.00100	12.50	12.00							
4	2800.0	0.0220	0.0230	0.0225	0.0572	15.26	0.00184	22.00	23.00							
5	3500.0	0.0310	0.0320	0.0315	0.0800	19.08	0.00258	31.00	32.00							
6	4200.0	0.0390	0.0360	0.0375	0.0953	22.89	0.00307	39.00	36.00							
7	4900.0	0.0480	0.0400	0.0440	0.1118	26.71	0.00361	48.00	40.00							
8	5600.0	0.0590	0.0470	0.0530	0.1346	30.53	0.00434	59.00	47.00							
9	6300.0	0.0680	0.0510	0.0595	0.1511	34.34	0.00488	68.00	51.00							
10	7000.0	0.0730	0.0690	0.0710	0.1803	38.16	0.00582	73.00	69.00							

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Edad :		42 días			a/c=0.65											
CPE -Patrón		Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
M1	47745.5	15.35	15.28	15.38	15.34	184.74	258.45	-	13505.50	-	-	30.97	-			
M2	-	15.30	15.25	15.25	15.27	183.05	-	-	13546.00	-	-	31.00	-			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CPE-0.65-M2	16.31 103.38	0.00005 0.00057	168406												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	1900.0	0.0003	0.0003	0.0003	0.0006	10.38	0.00002	0.25	0.25							
2	3800.0	0.0009	0.0009	0.0009	0.0022	20.76	0.00007	0.88	0.88							
3	5700.0	0.0016	0.0016	0.0016	0.0041	31.14	0.00013	1.60	1.60							
4	7600.0	0.0023	0.0023	0.0023	0.0058	41.52	0.00019	2.30	2.30							
5	9500.0	0.0031	0.0031	0.0031	0.0079	51.90	0.00025	3.10	3.10							
6	11400.0	0.0039	0.0039	0.0039	0.0098	62.28	0.00032	3.85	3.85							
7	13300.0	0.0047	0.0047	0.0047	0.0118	72.66	0.00038	4.65	4.65							
8	15200.0	0.0054	0.0054	0.0054	0.0137	83.04	0.00044	5.40	5.40							
9	17100.0	0.0062	0.0062	0.0062	0.0157	93.42	0.00051	6.20	6.20							
10	19000.0	0.0070	0.0070	0.0070	0.0177	103.79	0.00057	6.95	6.95							
CTE -1 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
M1	25407.0	15.42	15.25	15.30	15.32	184.42	137.77	13586.50	12641.00	945.50	31.10	31.15	0.05			
M2	-	15.20	15.25	15.30	15.25	182.65	-	13596.00	12660.00	936.00	31.01	31.12	0.11			
								13591.25		940.75			0.08			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE1-0.65-M2	-23.44 55.11	0.00005 0.00320	24933												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	1000.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.47	0.00000	0.00	0.00							
2	2000.0	0.0135	0.0135	0.0135	0.0343	10.95	0.00110	13.50	13.50							
3	3000.0	0.0200	0.0200	0.0200	0.0508	16.42	0.00163	20.00	20.00							
4	4000.0	0.0238	0.0238	0.0238	0.0605	21.90	0.00194	23.80	23.80							
5	5000.0	0.0266	0.0266	0.0266	0.0676	27.37	0.00217	26.60	26.60							
6	6000.0	0.0288	0.0288	0.0288	0.0732	32.85	0.00235	28.80	28.80							
7	7000.0	0.0310	0.0310	0.0310	0.0787	38.32	0.00253	31.00	31.00							
8	8000.0	0.0334	0.0334	0.0334	0.0848	43.80	0.00273	33.40	33.40							
9	9000.0	0.0358	0.0358	0.0358	0.0909	49.27	0.00292	35.80	35.80							
10	10000.0	0.0390	0.0390	0.0390	0.0991	54.75	0.00318	39.00	39.00							
CTE -2 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
1	20133.2	15.45	15.30	15.30	15.35	185.06	108.79	13577.00	12352.00	1225.00	30.90	30.95	0.05			
2	-	15.45	15.10	15.30	15.28	183.45	-	13510.00	12211.00	1299.00	30.90	30.97	0.07			
								13543.50		1262.00		30.96	0.06			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE2-0.65-M2	2.80 43.52	0.00005 0.00672	6108												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	800.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.36	0.00000	0.00	0.00							
2	1600.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8.72	0.00000	0.00	0.00							
3	2400.0	0.0230	0.0230	0.0230	0.0584	13.08	0.00189	23.00	23.00							
4	3200.0	0.0325	0.0325	0.0325	0.0826	17.44	0.00267	32.50	32.50							
5	4000.0	0.0485	0.0485	0.0485	0.1232	21.80	0.00398	48.50	48.50							
6	4800.0	0.0560	0.0560	0.0560	0.1422	26.16	0.00459	56.00	56.00							
7	5600.0	0.0635	0.0635	0.0635	0.1613	30.53	0.00521	63.50	63.50							
8	6400.0	0.0700	0.0700	0.0700	0.1778	34.89	0.00574	70.00	70.00							
9	7200.0	0.0760	0.0760	0.0760	0.1930	39.25	0.00623	76.00	76.00							
10	8000.0	0.0820	0.0820	0.0820	0.2083	43.61	0.00673	82.00	82.00							
CTE -3 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
1	11359.0	15.22	15.40	15.50	15.37	185.62	61.19	13943.00	12556.00	1387.00	31.20	31.50	0.30			
2	-	15.50	15.35	15.30	15.38	185.86	-	13635.50	12244.50	1391.00	31.00	31.30	0.30			
								13789.25		1389.00		31.40	0.30			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (€)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE3-0.65-M2	4.93 24.48	0.00005 0.00428	4617												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (€)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	450.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.42	0.00000	0	0							
2	900.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.84	0.00000	0	0							
3	1350.0	0.0180	0.0180	0.0180	0.0457	7.26	0.00146	18.00	18.00							
4	1800.0	0.0250	0.0250	0.0250	0.0635	9.68	0.00203	25.00	25.00							
5	2250.0	0.0335	0.0335	0.0335	0.0851	12.11	0.00272	33.50	33.50							
6	2700.0	0.0370	0.0370	0.0370	0.0940	14.53	0.00300	37.00	37.00							
7	3150.0	0.0400	0.0400	0.0400	0.1016	16.95	0.00325	40.00	40.00							
8	3600.0	0.0422	0.0422	0.0422	0.1072	19.37	0.00342	42.20	42.20							
9	4050.0	0.0447	0.0447	0.0447	0.1135	21.79	0.00363	44.70	44.70							
10	4500.0	0.0520	0.0520	0.0520	0.1321	24.21	0.00422	52.00	52.00							

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Edad :		42 días			a/c=0.70											
CPE -Patrón		Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
N°	Carga (Kgf)	D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
M1	40120.0	15.30	15.34	15.31	15.32	184.25	217.74	-	13188.80	-	-	30.97	-			
M2	-	15.35	15.33	15.39	15.36	185.22	-	-	13129.40	-	-	31.00	-			
-																
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (ε)	Módulo de Elasticidad												
M2	CPE-0.70-M2	12.03 87.10	0.00005 0.00057	145736												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (ε)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	1600.0	0.0004	0.0004	0.0004	0.0010	8.64	0.00003	0.35	0.40							
2	3200.0	0.0010	0.0010	0.0010	0.0025	17.28	0.00008	1.00	0.95							
3	4800.0	0.0016	0.0016	0.0016	0.0041	25.92	0.00013	1.60	1.60							
4	6400.0	0.0023	0.0023	0.0023	0.0058	34.55	0.00019	2.25	2.30							
5	8000.0	0.0030	0.0030	0.0030	0.0076	43.19	0.00024	2.95	3.00							
6	9600.0	0.0037	0.0038	0.0038	0.0095	51.83	0.00031	3.70	3.80							
7	11200.0	0.0045	0.0045	0.0045	0.0113	60.47	0.00036	4.45	4.45							
8	12800.0	0.0052	0.0052	0.0052	0.0131	69.11	0.00042	5.20	5.15							
9	14400.0	0.0060	0.0059	0.0060	0.0151	77.75	0.00049	6.00	5.90							
10	16000.0	0.0069	0.0068	0.0068	0.0173	86.38	0.00056	6.90	6.75							
CTE -1 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
M1	31889.0	15.48	15.35	15.32	15.38	185.86	171.57	13124.70	11952.00	1172.70	31.14	31.15	0.01			
M2	-	15.58	15.40	15.38	15.45	187.56	-	13444.70	12205.50	1239.20	31.27	31.29	0.02			
								13284.70		1205.95			0.01			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (ε)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE1-0.70-M2	5.78 68.63	0.00005 0.00132	49538												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (ε)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	1200.0	0.0009	0.0009	0.0009	0.0023	6.40	0.00007	0.90	0.90							
2	2400.0	0.0039	0.0039	0.0039	0.0098	12.80	0.00031	3.85	3.85							
3	3600.0	0.0059	0.0059	0.0059	0.0150	19.19	0.00048	5.90	5.90							
4	4800.0	0.0075	0.0075	0.0075	0.0191	25.59	0.00061	7.50	7.50							
5	6000.0	0.0090	0.0090	0.0090	0.0229	31.99	0.00073	9.00	9.00							
6	7200.0	0.0109	0.0109	0.0109	0.0277	38.39	0.00088	10.90	10.90							
7	8400.0	0.0116	0.0116	0.0116	0.0295	44.79	0.00094	11.60	11.60							
8	9600.0	0.0128	0.0128	0.0128	0.0325	51.18	0.00104	12.80	12.80							
9	10800.0	0.0140	0.0140	0.0140	0.0356	57.58	0.00114	14.00	14.00							
10	12000.0	0.0153	0.0153	0.0153	0.0389	63.98	0.00124	15.30	15.30							
CTE -2 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
1	11280.0	15.40	15.30	15.50	15.40	186.27	60.56	13084.10	11612.00	1472.10	30.88	31.08	0.20			
2	-	15.55	15.45	15.40	15.47	187.88	-	13192.80	11597.00	1595.80	31.10	31.05	-0.05			
								13138.45		1533.95		31.07	0.07			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (ε)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE2-0.70-M2	5.02 24.22	0.00005 0.00227	8632												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (ε)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	450.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.40	0.00000	0.00	0.00							
2	900.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.79	0.00000	0.00	0.00							
3	1350.0	0.0127	0.0000	0.0064	0.0161	7.19	0.00052	12.70	12.70							
4	1800.0	0.0235	0.0000	0.0118	0.0298	9.58	0.00096	23.50	23.50							
5	2250.0	0.0315	0.0000	0.0158	0.0400	11.98	0.00129	31.50	31.50							
6	2700.0	0.0378	0.0000	0.0189	0.0480	14.37	0.00155	37.80	37.80							
7	3150.0	0.0428	0.0000	0.0214	0.0544	16.77	0.00175	42.80	42.80							
8	3600.0	0.0478	0.0000	0.0239	0.0607	19.16	0.00196	47.80	47.80							
9	4050.0	0.0516	0.0000	0.0258	0.0655	21.56	0.00211	51.60	51.60							
10	4500.0	0.0552	0.0000	0.0276	0.0701	23.95	0.00226	55.20	55.20							
CTE -3 h																
N°	Carga (Kgf)	Lecturas			Diametro Prom	Área	F _c (Kg/cm2)	Lectura de Masa		Δ masa	Lectura de Altura		Δ h			
		D1-f(cm)	D2-f(cm)	D3-f(cm)	(cm)	(cm ²)		m.i (gr)	m.f (gr)	(gr.)	h.i (cm)	h.f (cm)	(cm)			
1	7129.0	15.42	15.50	15.40	15.44	187.23	38.08	13105.60	11583.00	1522.60	30.96	31.27	0.31			
2	-	15.45	15.50	15.40	15.45	187.48	-	13109.30	11432.50	1676.80	30.91	31.00	0.09			
								13107.45		1599.70		31.14	0.20			
N°	Código	Esfuerzos Kg/cm2	Deformación Unitaria (ε)	Módulo de Elasticidad												
M2	CTE3-0.70-M2	3.10 15.23	0.00005 0.00819	1490.0												
N°	Carga (Kgf)	Lecturas		Deformación Longitudinal		σ (kg/cm2)	Deformación Unitaria (ε)	Lecturas (0.0001")								
		Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)	Prom (pulg)	Prom (cm)			Lect 1 (pulg)	Lect 2 (pulg)							
1	280.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.49	0.00000	0.00	0.00							
2	560.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.99	0.00000	0.00	0.00							
3	840.0	0.0082	0.0082	0.0082	0.0208	4.48	0.00067	8.20	8.20							
4	1120.0	0.0340	0.0340	0.0340	0.0864	5.97	0.00279	34.00	34.00							
5	1400.0	0.0530	0.0530	0.0530	0.1346	7.47	0.00434	53.00	53.00							
6	1680.0	0.0670	0.0670	0.0670	0.1702	8.96	0.00549	67.00	67.00							
7	1960.0	0.0770	0.0770	0.0770	0.1956	10.45	0.00631	77.00	77.00							
8	2240.0	0.0850	0.0850	0.0850	0.2159	11.95	0.00696	85.00	85.00							
9	2520.0	0.0910	0.0910	0.0910	0.2311	13.44	0.00746	91.00	91.00							
10	2800.0	0.0985	0.0985	0.0985	0.2502	14.94	0.00807	98.50	98.50							

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS POR INCIDENCIA DEL FUEGO DIRECTO”

Bach. MARK HUINCHO SALVATIERRA

Anexo E - Panel fotográfico



FOTO E.1 Quemado de muestras de 4"x8" para el ensayo de compresión para el concreto de $a/c=0.60$.



FOTO E.2 Grado de fisuración en muestras Patrón (P), a 1, 2 y 3 horas de exposición al fuego directo, en probetas de 6"x12" para el concreto de $a/c=0.65$.



FOTO E.3 Muestras Patrón (P), a 1 hora, 2 horas y 3 horas de exposición al fuego directo, en probetas de 6"x12" para el concreto de $a/c=0.65$.



FOTO E.4 Agrietamiento en muestras Patrón (P), a 1 hora, 2 horas y 3 horas de exposición al fuego directo, en probetas de 6"x12" para el concreto de $a/c=0.70$.



FOTO E.5 Muestras Patrón (P), a 1 hora, 2 horas y 3 horas de exposición al fuego directo, en probetas de 6"x12" para el concreto de $a/c=0.70$.



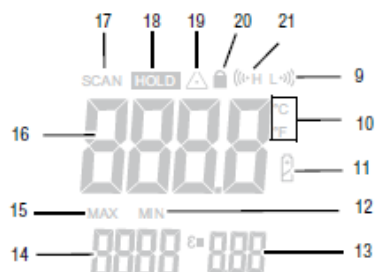
FOTO E.6 Grado de fisuración, textura y coloración en muestras Patrón (P), a 1 hora, 2 horas y 3 horas de exposición al fuego directo, en probetas de 4"x8" para el concreto de $a/c=0.70$.

Anexo F - Hoja Técnica del Termómetro IR-TP7





Pantalla



N°	Elemento indicado
9	Umbral de alarma inferior
10	Unidad de la temperatura
11	Pila
12	MIN.
13	Grado de emisión
14	Temperatura MÁX. / MIN.
15	MÁX.
16	Valor de medición superior
17	SCAN
18	HOLD
19	Láser
20	Medición constante
21	Umbral de alarma superior

Datos técnicos

Modelo	TP7
Peso	180 g
Dimensiones	152 mm x 120 mm x 48 mm (alto x ancho x largo)
Rango de medición	-50 °C a 1000 °C (-58 °F a 1832 °F)
Resolución	0,1 °C/ °F
Indicador del objetivo	Láser de clase II, de 630 a 670 nm < 1 mW
Precisión	±2,5 °C (4,5 °F) a -50 °C hasta 20 °C (-58 °F hasta 68 °F) ± 1 % de 21 °C hasta 300 °C (69 °F hasta 572 °F) ±1,5 % desde 301 °C hasta 1000 °C (573 °F hasta 1832 °F)
Grado de emisión	ajustable desde 0,10 hasta 1,0
Resolución óptica	30:1 (D:S)
Zona de medición mínima	ø25,4 mm
Sensibilidad espectral	8 ~ 14 µm
Tiempo de respuesta	< 150 ms
Temperatura de trabajo	de 0 °C a 50 °C (de 32 °F a 122 °F), de 10 % a 90 % h.r.
Condiciones de almacenamiento	de -10 °C a 60 °C, < 80 % h.r.
Alimentación eléctrica	Pila de bloque de 9 V
Desconexión	Después de 10 segundos sin utilizarse

Volumen de suministro

- 1 x pirómetro TP7
- 1 x bloque de pilas de 9 V
- 1 x estuche para el aparato
- 1 x manual de instalación rápida

Seguridad

Lea detenidamente este manual de instrucciones antes de usar el aparato y manténgalo siempre a su alcance.

- No ponga el aparato en funcionamiento en atmósferas que contengan aceite, azufre, cloro o sales.
- Asegúrese de que el aparato no reciba permanentemente y de forma directa la irradiación solar.
- Evite dirigir la vista directamente hacia los rayos láser.
- No oriente la radiación láser hacia personas o animales.
- No retire del aparato ninguna indicación de seguridad, pegatina o etiqueta. Asegúrese de que todas las indicaciones de seguridad, pegatinas y etiquetas se mantienen siempre legibles.
- Respete las condiciones de almacenamiento y servicio (véase el capítulo Datos técnicos).

Uso adecuado

El aparato está previsto exclusivamente para mediciones de temperatura con sensor infrarrojo dentro de la gama indicada en los datos técnicos. Las personas que usen este aparato deben haber leído y comprendido el manual de instrucciones y en especial el capítulo Seguridad.

Uso indebido

El aparato no puede ser usado en atmósferas potencialmente explosivas. NO puede ser orientado hacia personas. TROTEC® no se hace responsable de daños resultantes de un uso indebido. En tales casos se pierde el derecho de garantía.

Cualificación del personal

Las personas que usen este aparato deben:

- haber leído y comprendido el manual de instrucciones y en especial el capítulo Seguridad.
- ser conscientes de los peligros derivados del trabajo con aparatos de medición láser.