



## **EFFECTO DEL FUEGO SOBRE LOS HORMIGONES**

### **Alteraciones sufridas por los agregados**

**Ing. Geraldine L. Charreau - Lic. Fabio S. Luna  
(U.T. Fuego - U.T. Albañilería, Rocas y Techos)**

#### **RESUMEN**

El efecto del fuego en las estructuras de hormigón es un problema complejo y parte de esta complejidad se debe a que, en el hormigón, que es un material compuesto, los distintos componentes no reaccionan de la misma forma ante la acción de las temperaturas elevadas.

Este trabajo que se presenta es parte de un trabajo más complejo que se está realizando entre diferentes Unidades Técnicas del CECON.

Aquí nos vamos a centrar en el efecto de las altas temperaturas sobre los agregados del hormigón. Dado el volumen mayoritario que representan los agregados en el hormigón, el comportamiento de los mismos incide directamente en las características del material compuesto.

La idea del trabajo es poder identificar y cuantificar las alteraciones producidas en los agregados para que, en base al estudio de los mismos, se pueda inferir o complementar la evaluación del daño sufrido por un hormigón sometido a un incendio.

Se presentan los resultados obtenidos en estudios realizados sobre agregados gruesos y finos antes y después de exponerlos a la acción del fuego normalizado.

#### **INTRODUCCIÓN**

Uno de los factores principales que afectan al valor del coeficiente de expansión térmico del hormigón es el tipo de agregado. Dado que el hormigón es fundamentalmente agregado, la expansión del mismo predomina a la hora de determinar la expansión del hormigón.

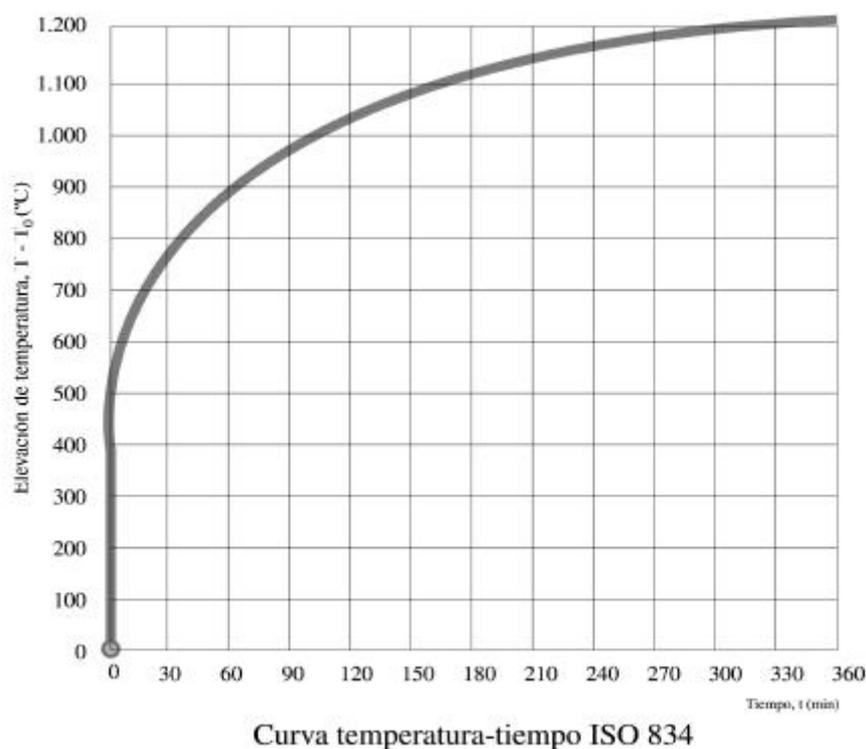
El coeficiente de expansión térmica de las rocas oscila entre 1 y 16 microdeformaciones por grado centígrado, debido a sus diferentes composiciones mineralógicas. El coeficiente de expansión térmica de los minerales silíceos como el cuarzo (12 microdeformaciones por grado centígrado) es mucho mayor que el de otros minerales como la calcita (1 – 5 microdeformaciones por grado centígrado), mineral constituyente de la caliza.

Por consiguiente, el coeficiente de expansión térmica de las rocas suele aumentar con el incremento del contenido de sílice.

El grado de alteración que se puede producir en el hormigón y sus componentes va a depender principalmente del nivel de temperatura alcanzado, del tiempo de exposición y de la composición del hormigón.

Para encarar estos estudios como primer paso es necesario modelar un fuego real, ya que cada incendio es un proceso diferente de otro, donde intervienen numerosas variables, como el tipo y la disposición espacial de los materiales combustibles, la ventilación, las posibles barreras o compartimentaciones que puedan existir, el carácter y la disposición de los medios contra incendios o la rapidez y eficacia de los servicios de bomberos.

Por lo tanto, las evaluaciones o comprobaciones de seguridad de una estructura de hormigón o de elementos componentes de la misma en caso de incendio, se deben realizar sobre modelos muy simplificados con respecto a la situación teórica real, siendo no por eso, de menor importancia las conclusiones que se puedan sacar, a la hora de realizar evaluaciones sobre estructuras dañadas en siniestros reales.



El fuego normalizado que se considera para estos estudios es el establecido en la Norma ISO 834. En la misma se dan, la curva de evolución de la temperatura en función del tiempo y las condiciones de presión del ambiente interior del horno. Las condiciones simuladas representan condiciones de intensa gravedad del incendio.

## EXPERIENCIAS

Los materiales ensayados fueron 3 tipos de agregados: una arena natural silíceo tipo Paraná, una arena gruesa silíceo tipo Oriental y una piedra partida granítica de la Provincia de Buenos Aires.

A continuación se irán presentando una serie de análisis, estudios y ensayos sobre los diferentes tipos de agregados comentados en forma comparativa, esta comparación será entre los agregados a temperatura ambiente y los agregados sometidos a 4hs 30 minutos de fuego normalizado (1200°C).

El enfriamiento de las muestras sometidas al fuego normalizado se produjo de forma natural realizando la apertura del horno de ensayo a las 4hs 30 minutos y ventilando el mismo con el aire del ambiente hasta que se consiguió bajar la temperatura hasta llegar a la del ambiente del laboratorio.

Los ensayos seleccionados para este trabajo fueron: caracterización petrográfica mediante microscopía, difracción de rayos X, microscopía electrónica, análisis granulométrico, peso unitario seco y suelto, absorción de agua y determinación comparativa del color por medio de la tabla de Munsell.



**Vista del interior del horno de simulación**

## a) Tipología de los agregados utilizados:

### a.1) Arenas:

Se utilizaron dos tipos de arena: una de granulometría fina y otra de granulometría gruesa. Estas arenas provienen de depósitos fluviales, tanto del río Uruguay y río Paraná. Las arenas de estos ríos, son tanto más gruesas cuanto más al norte se las recoja.

Ambas arenas, son consideradas agregados naturales, ya que provienen del desgaste NATURAL de rocas graníticas preexistentes del Matto Grosso en Brasil. El 80 al 95% de su composición mineralógica es SiO<sub>2</sub> (Cuarzo); la mayor parte del feldespato y la mica fueron desintegrados por el proceso de meteorización y el transporte fluvial, no obstante de ello siempre aparecen en su composición junto al cuarzo, el ópalo, la calcedonia, los feldespatos, micas y los óxidos. Este tipo de agregados se caracteriza por sus formas redondeadas y su textura lisa. Generalmente se los emplea tal cual como se los extrae, en algunos casos sólo se les realiza un lavado previo a la comercialización.

### a.2) Piedra Partida

El tipo de piedra partida utilizada en este trabajo, proviene de rocas graníticas con leve metamorfismo de la zona de Olavarría en la Provincia de Buenos Aires.

El agregado toma el nombre de piedra partida, ya que provienen de la trituración de rocas preexistentes. Estos agregados suelen tener formas poliédricas y textura rugosa. Como composición fundamental tiene Cuarzo, Feldespato y Mica.

## b) Caracterización petrográfica mediante microscopía: Según Norma IRAM 1649

Esta caracterización se la realizó en forma comparativa entre las arenas y la piedra partida, a temperatura ambiente y los agregados sometidos a 4:30 hs de fuego normalizado (1200°C).

### b.1) Arenas:

Como se mencionó anteriormente las arenas estudiadas responden a un mismo tipo petrográfico, en general presentan la siguiente distribución en porcentaje de composición:

Especie mineral	Porcentaje (%)
Cuarzo	85,8
Feldespatos	4,9
Ópalo	0,0
Calcedonia	1,1
Máficos	0,7

Analizando las arenas que fueron sometidas al fuego y las que no, se observa que ambas presentan una mineralogía muy similar, esto se confirma con los estudios de Difracción de rayos X y Análisis con microsonda que se exponen más adelante. La diferencia más notable entre una y otra es la coloración rojiza que presenta la muestra calentada a diferencia con la que está a temperatura ambiente que presenta colores amarillentos, esta coloración se atribuye a una tinción de los agregados por liberación de óxidos de hierro (ver microscopía electrónica).

#### b.2) Piedra Partida:

Para realizar este estudio se tuvieron que realizar dos cortes delgados, uno con el agregado a temperatura ambiente y el otro con el agregado sometido al fuego normalizado. Respecto al primero, a continuación se presenta la descripción macro y microscópica del agregado:

Las partículas que componen la piedra partida son muy homogéneas, coherentes y masivas. Presentan un color grisáceo. Su composición corresponde a una roca granítica con algunas evidencias de metamorfismo.

El estudio microscópico revela una textura granular mediana orientada y presenta la siguiente mineralogía:

\* Cuarzo (40%): en cristales de tamaño variable debido a trituración. Presenta extinción en mortero. Mediante el estudio de barra de mortero (método acelerado) el agregado se clasifica inocuo a la reacción álcali - agregado.

\* Feldespato potásico (30%): Microclino y Ortosa con alteración arcillosa, en cristales con bordes triturados e intercrecimiento gráfico con Cuarzo.

\* Plagioclasa (15%): Tipo Oligoclasa, macla característica, alteración similar al Feldespato.

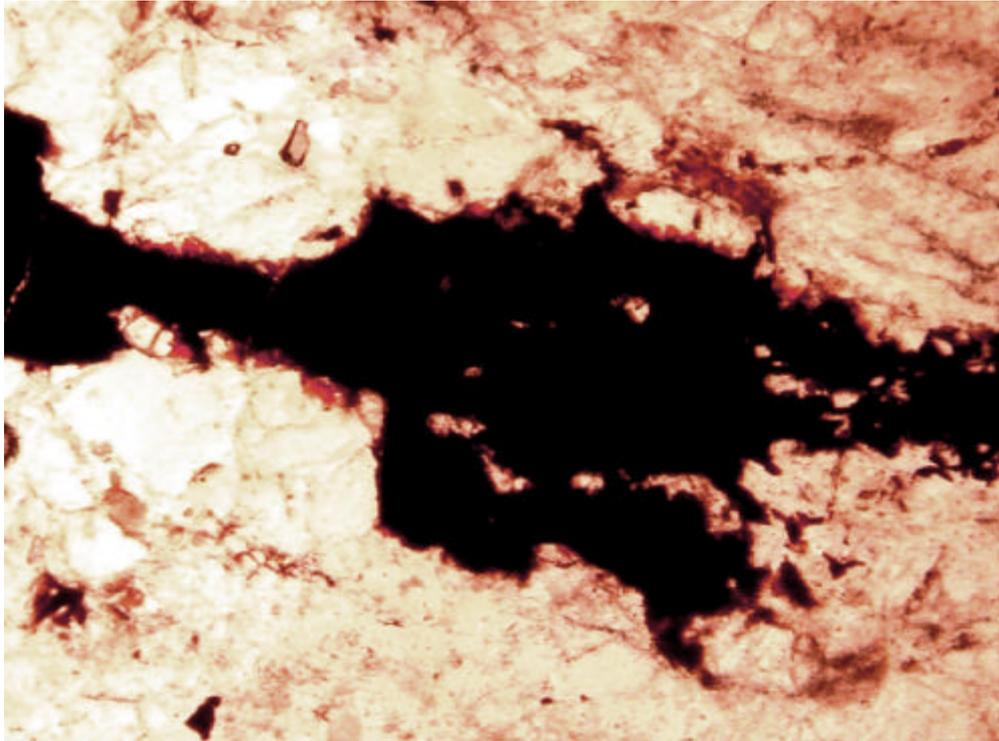
\* Biotita (15%): Biotita y escaso anfíbol agrupados en bandas junto con óxidos de Hierro y Titanita. Presenta alteración clorítica.

Los agregados sometidos a calentamiento, presentan colores blancuzcos, son muy frágiles (baja resistencia) y poseen un desgranamiento de sus componentes.

Respecto a la textura, se visualiza una disposición de minerales similar a la descripción anterior, sin embargo se aprecia un mayor grado de fracturamiento y rotura, esto último genera el desgranamiento mencionado.

Las micas (Biotitas) se han transformado en óxidos de hierro y en los bordes de estos se aprecian síntomas de fusión (**VER MICROFOTOGRAFÍA**). Los Feldespatos (Microclino y Ortosa) al igual que el Cuarzo presentan sólo alteración física, como fracturación y fisuración.

Como complemento a la caracterización petrográfica, se realizaron estudios de difracción de rayos X y de microscopía electrónica.

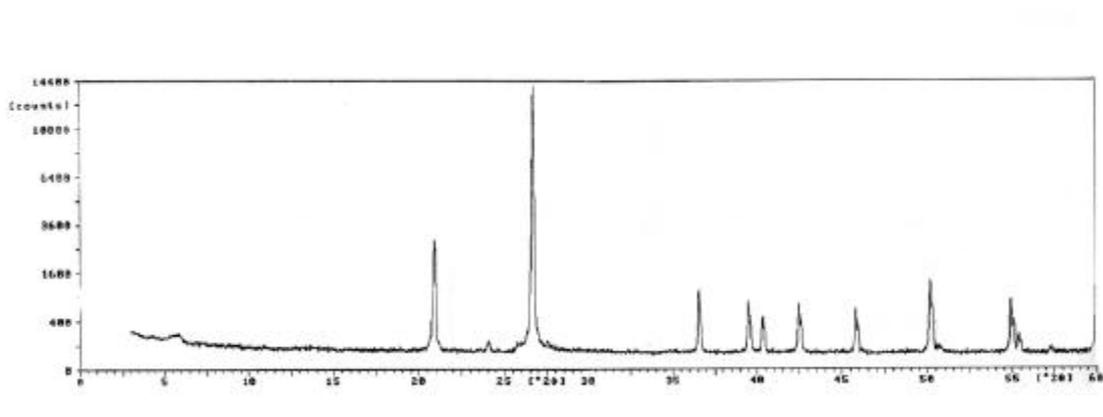


**Microfotografía de corte delgado**

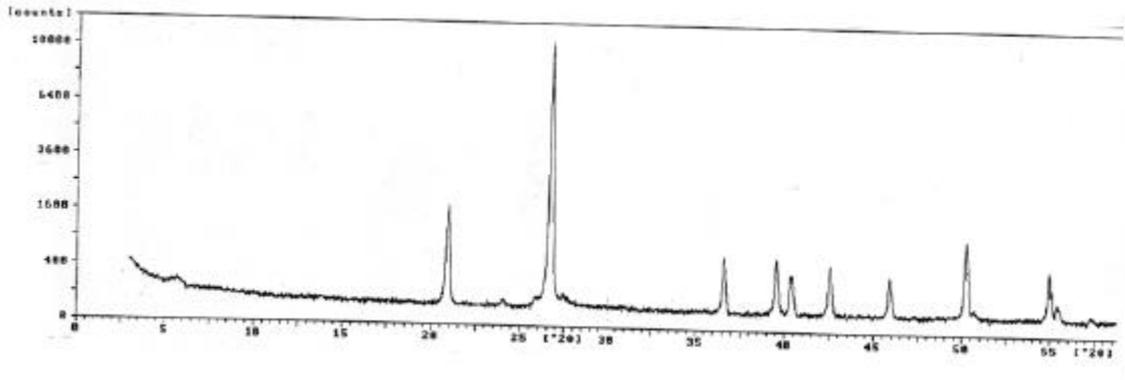
### **c) Difracción de rayos X**

Las muestras de arena fina y de piedra partida fueron molidas a tamaño pasa Tamiz IRAM N°325, y analizadas en equipo de difracción de rayos X .

Respecto a la muestra de arena se hizo un estudio comparativo entre la muestra a temperatura ambiente y a 4:30 hs de exposición a fuego normalizado (1200°C), los resultados indican que la composición de las muestras se mantienen invariable frente a los rayos X.

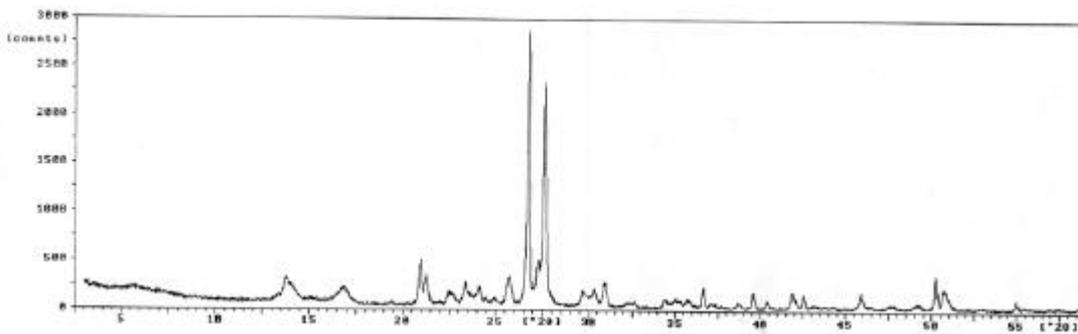


**Arena fina a temperatura ambiente**

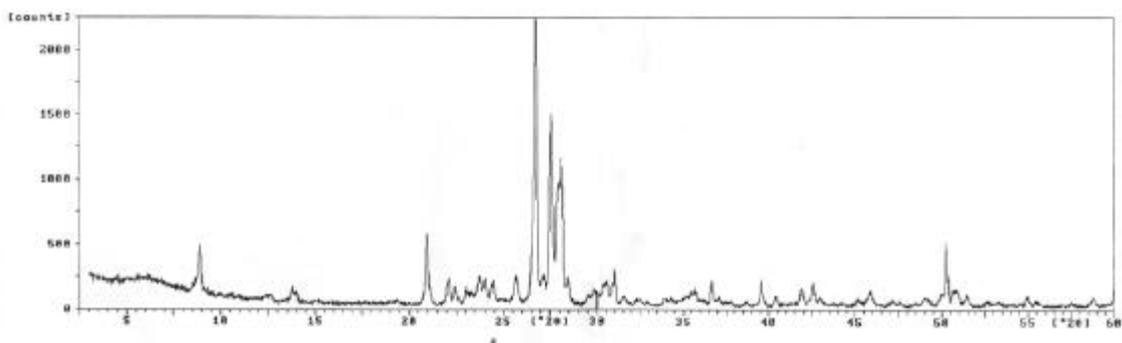


**Arena fina calentada**

Observando los resultados de la piedra partida, se aprecia una diferencia de composición entre las muestras calentadas y las de temperatura ambiente. Esta diferencia se debe fundamentalmente a la presencia o no de minerales de mica (Biotita) y plagioclasas (Oligoclasa) en los espectros correspondientes. En el caso de la muestra calentada, los picos correspondientes a estos minerales desaparecen, mientras que en la muestra a temperatura ambiente los picos de estos minerales se observan con toda claridad.



**Piedra partida a temperatura ambiente**



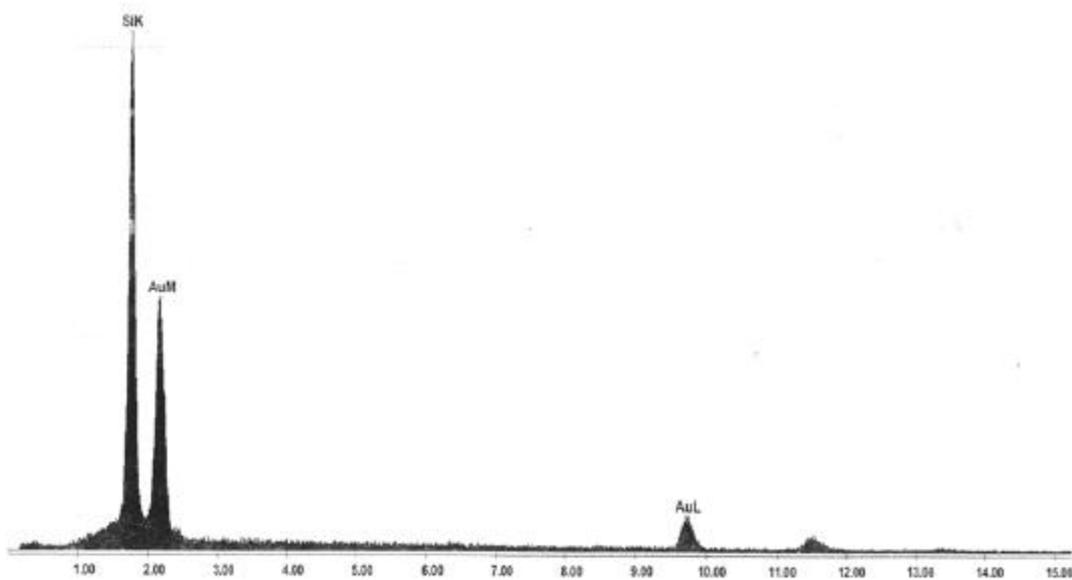
**Piedra partida calentada**

Los minerales principales, el Cuarzo y los Feldespatos (Microclino y Ortosa) aparecen invariables, en las dos muestras (calentada y temperatura ambiente).

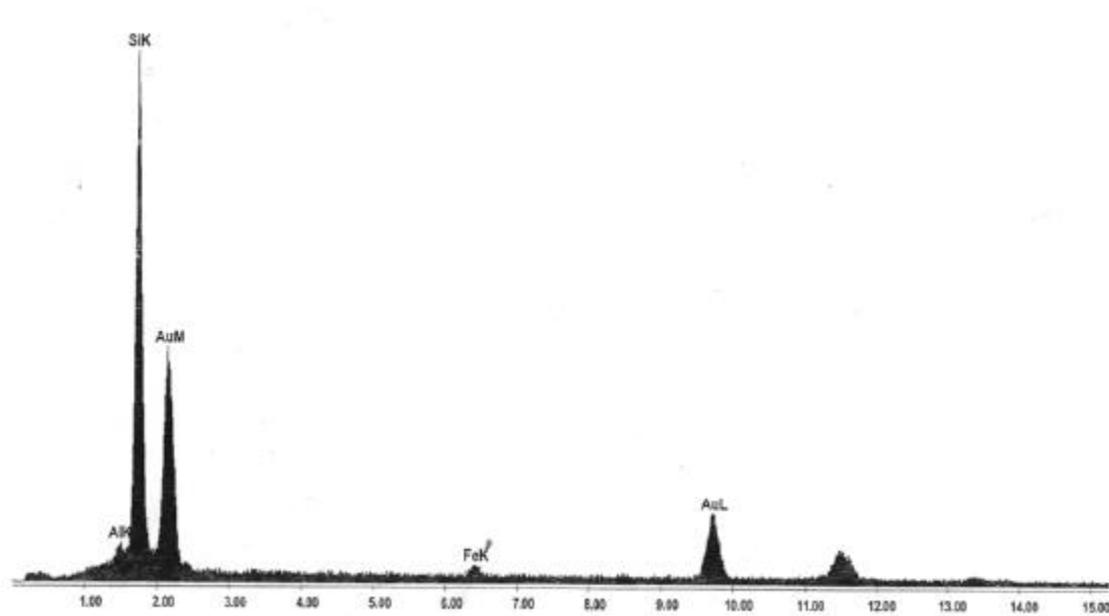
#### d) Microscopía electrónica

Fueron observadas y analizadas las muestras de arena fina, a temperatura ambiente y a 4:30 hs de exposición a fuego normalizado (1200°C) en forma comparativa.

En los espectros comparativos se observa, en la muestra no calentada la presencia de Si (silicio) como elemento principal; en la muestra calentada se observa además de silicio, la presencia de Fe (hierro) y trazas de Al (aluminio).



**Espectro de muestra no calentada**



**Espectro de muestra calentada**

**e) Análisis granulométrico:** Según Norma IRAM 1505

Habitualmente para dosificar correctamente un hormigón es preciso conocer el tamaño de las partículas que componen el agregado. Si colocamos partículas dentro de un recipiente y lo llenamos, naturalmente quedará una cantidad de espacio ocupado por las partículas y otra de espacio vacío entre ellas. La cantidad de espacio vacío depende de la distribución por tamaños y la forma del agregado.

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas que constituye el material granular. El estudio del tamaño se hace mediante un tamizado. La Norma IRAM 1505 establece el método de ensayo para determinar la granulometría de los agregados.

e.1) Arena Fina

<b>Tamiz IRAM</b>	<b>Retenido Parcial (%)</b>
3/8" (9,5 mm)	0,0
N°4 (4,75 mm)	0,0
N°8 (2,36 mm)	0,1
N°16 (1,18 mm)	1,5
N°30 (600µm)	13,4
N°50 (300µm)	50,6
N°100 (150µm)	29,4
< N° 100	5,0
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>

## e.2) Arena Gruesa

Tamiz IRAM	Retenido Parcial (%)
3/8" (9,5 mm)	0,0
N°4 (4,75 mm)	1,8
N°8 (2,36 mm)	3,6
N°16 (1,18 mm)	26,6
N°30 (600µm)	23,6
N°50 (300µm)	14,9
N°100 (150µm)	22,2
< N° 100	7,3
TOTAL	100,0

## e.3) Piedra Partida

Tamiz IRAM	Retenido Parcial (%)
1" (25 mm)	0,0
3/4" (19 mm)	5,4
1/2" (12,5 mm)	64,4
3/8" (9,5 mm)	16,5
N°4 (4,75 mm)	12,5
< N° 4	1,2
total	100,0

## f) Peso Unitario Seco y Suelto: Según Norma IRAM 1548

El valor del Peso Unitario, es el resultado del cociente entre el volumen del agregado y el volumen del recipiente que lo contiene, a esta magnitud se la denomina también peso de la unidad de volumen a granel. El peso unitario se ve afectado por varios factores; unos intrínsecos (peso específico, granulometría, forma y textura superficial), dependen de las características propias del agregado a ensayar otros extrínsecos dependen del método de ensayo (forma y dimensiones del recipiente, formas de compactación y humedad de agregado). En este trabajo, las diferencias de Peso Unitarios se verán influenciadas por factores intrínsecos, ya que se ha utilizado el mismo recipiente de medida, condiciones secas, estado suelto y la misma forma de ensayo para las arenas y la piedra partida.

A continuación se observa la tabla donde se comparan los valores obtenidos de pesos unitarios para los tres tipos de agregados en las condiciones de ensayo, a temperatura ambiente y a 4:30 hs de exposición a fuego normalizado (1200°C).

<b>Agregado</b>	<b>Condición de ensayo</b>	<b>P.U.S y S (Kg/m3)</b>
Piedra Partida	Natural	1390
Piedra Partida	Calentada	1290
Arena Fina	Natural	1640
Arena Fina	Calentada	1650
Arena Gruesa	Natural	1710
Arena Gruesa	Calentada	1710

**Tabla N°1**

La variación de los pesos unitarios entre las arenas (gruesa y fina), que se observa en la **Tabla N°1**, se deben principalmente a la variación granulométrica, aunque también se ve afectado por la forma y textura superficial de los agregados. En estas arenas no se observa variación en los pesos unitarios entre la condición de ensayo Natural y Calentada.

En cuanto a la piedra partida, se observa que el peso unitario es menor que el de las arenas por factores como: granulometría, peso específico, forma y textura superficial. Entre las dos condiciones de ensayo, se hace notar el descenso de peso unitario sufrido por el agregado calentado respecto al sin calentar, la diferencia fue de un 7% aproximadamente.

**g) Absorción:** Según Norma IRAM 1520 y 1533

La absorción de agua es una medida indirecta de la permeabilidad de un agregado, que a su vez puede relacionarse con otras características físicas tales como su resistencia mecánica, contracción, estabilidad y potencial de durabilidad. Las relaciones son imprecisas, aunque por lo general, los agregados menos absorbentes tienden a ser más resistentes a las fuerzas mecánicas y a la alteración meteórica.

<b>Agregado</b>	<b>Estado</b>	<b>Absorción (%)</b>
Piedra Partida	Natural	0,07
Piedra Partida	Calentada	2,53
Arena Fina	Natural	0,09
Arena Fina	Calentada	0,04
Arena Gruesa	Natural	0,29
Arena Gruesa	Calentada	0,23

**Tabla N°2**

Analizando la **Tabla N°2** se observa el comportamiento sin variaciones del porcentaje de absorción que presentan los dos tipos de arena, la gruesa y la fina ensayadas antes y después del calentamiento. No ocurre lo mismo con el agregado grueso (piedra partida) en el que se observa una gran diferencia entre el agregado natural y el calentado.

#### **h) Color**

La intensidad del color de los agregados es un factor importante para estimar la temperatura máxima alcanzada durante un incendio. La coloración de los agregados fue analizada mediante la tabla de comparación de Munsell, excepto para los agregados gruesos que se realizó una evaluación visual. La simbología que se observa en la columna de **Color** para los agregados finos, responde a la tabla de Munsell.

<b>Agregado</b>	<b>Estado</b>	<b>Color</b>
Piedra Partida	Natural	Grisáceo
Piedra Partida	Calentada	Blancuzco
Arena Fina	Natural	10 YR 7/4
Arena Fina	Calentada	2,5 YR 5/6
Arena Gruesa	Natural	10 YR 7/4
Arena Gruesa	Calentada	2,5 YR 5/6

**Tabla N°3**



Los agregados estudiados cambian de color con la temperatura. En las arenas se observa una coloración mas rojiza a medida que aumenta el tiempo de exposición (temperatura); en la piedra partida, por el contrario, la coloración se hace más clara, pasando de color grisáceo a blancuzco. El cambio de color es permanente (irreversible).

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A modo de resumen se presenta en la siguiente tabla la importancia de los cambios sufridos en las propiedades y características de los dos tipos de agregados considerados, al ser sometidos a 4:30 hs de exposición a fuego normalizado (1200°C).

<b>Propiedades y características</b>	<b>Agregado Grueso (piedra)</b>	<b>Agregado Fino (arenas)</b>
Mineralogía	Cambios importantes	Cambios leves
Absorción	Cambios importantes	Sin cambios
Resistencia	Cambios importantes	Sin cambios
Peso unitario	Cambios leves	Sin cambios
Coloración	Cambios importantes	Cambios importantes

El tipo de agregado utilizado en el hormigón afecta directamente la resistencia al fuego del mismo.

Como se observa de los estudios realizados, el comportamiento del agregado fino es muy diferente al del agregado grueso. Estas diferencias se observan en propiedades que en una primera instancia pueden considerarse de menor importancia como es la variación del color, hasta variaciones en propiedades más determinantes, como pueden ser los cambios en la resistencia, durabilidad y alterabilidad de los agregados.

Salvo la propiedad de coloración que se analizó para distintos tiempos de exposición al fuego, las demás propiedades se evaluaron entre dos temperaturas extremas: temperatura ambiente y 1200°C.

Los materiales analizados son los tradicionales en el mercado de la construcción en el ámbito de la Ciudad de Buenos Aires.

El trabajo completo incluirá la investigación de materiales de diferente origen y un número mayor de muestras sometidas a tiempos de exposición intermedios de los extremos evaluados en esta primera etapa.

Esto permitirá deducir o predecir el estado de estructuras de hormigón que han sido sometidos al fuego así como establecer temperaturas alcanzadas en siniestros ocurridos estudiando las alteraciones producidas en los agregados.