

ANEXOS

A.1. Encuesta realizada al Departamento de Bomberos de la Ciudad de Tarija

1.- Número de incendios registrados en estructuras en los últimos años en la Ciudad de Tarija.

Año	N° de incendios registrados
2016	12
2017	5

2.- Incendios estructurales registrados en los últimos meses.

Desde enero hasta el mes de septiembre del 2018 se tienen registrados 11 incendios.

3.- Causas de origen de los incendios.

El departamento de bomberos no realiza un estudio para determinar el origen específico de cada incendio, el trabajo de esta institución es netamente la de llegar lo más rápido posible al lugar, rescatar a personas en peligro y extinguir a la brevedad posible el fuego.

Empíricamente, se asume que por lo general es de origen fortuito. Los detonantes más posibles son las malas conexiones eléctricas y de gas.

4.- Tiempo de respuesta del cuerpo de bomberos al lugar del incendio.

El tiempo que tardan en llegar al lugar de los hechos, varía de acuerdo a la distancia del departamento de bomberos y al tráfico en esa hora. El departamento de bomberos se encuentra en el Barrio

Si el incendio es cerca del departamento → 5 minutos.

Si el incendio es lejano (ejem: Senac) → entre 20 – 25 minutos.

5.- Tipo de daños en los elementos estructurales

Los daños más sobresalientes se dan en las losas aligeradas con plastofom, ya que es un material combustible.

El informe detallado del daño estructural ocasionado por las llamas del incendio, es ejecutado por un equipo de ingenieros especializado en el tema, realizando el estudio de cada estructura.

A.2. Características del horno del ensayo

Para realizar el ensayo y tener una lectura de datos optima, se construyó un horno a partir de un tanque de una bomba compresora de aire, instalando en su interior quemadores que conectados mediante una manguera a una garrafa de gas licuado de petróleo (GLP). Para la lectura de la temperatura se instaló un reloj para hornos industriales, la capacidad máxima del reloj es de 600° C.

- Para temperaturas de 100° C y 200° C, ya que no son temperaturas muy elevadas, se pudo realizar el quemado de forma normal.



Instalación del horno y garrafa de GLP



Reloj de lectura de temperatura (máx. 600°C)



Interior del horno con los quemadores



Esquema de la realización del ensayo

- Para temperaturas de 300° C y 400° C, se tuvo que construir un muro de ladrillo, para que la temperatura no disminuya puesto a que el horno es metálico y se enfría con facilidad.



Muro de ladrillo gambote con yeso



Incremento de la temperatura

A.3. Características de la pintura epóxica

Sikadur® 32 Gel

Puente de adherencia epóxico

GENERAL

Sikadur® 32 Gel es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.

USOS

- Como puente de adherencia para realizar uniones rígidas entre hormigón endurecido y fresco.
- Como adhesivo entre elementos de: hormigón, piedra, mortero, acero, fierro, fibrocemento y madera.
- Adhesivo entre hormigón y mortero.
- En anclajes de pernos en hormigón o roca, donde se requiere una puesta de servicio rápida (24 horas).

VENTAJAS

- Pega de altísima calidad.
- Insensible a la humedad, antes, durante y después del curado.
- Excelente adherencia aún en superficies húmedas.
- Elevadas resistencias mecánicas, especialmente a la tracción por adherencia.
- Libre de solventes.

APARIENCIA Y COLOR

- Gris (mezcla A+B)

DATOS TÉCNICOS

- DENSIDAD 1,6 kg/dm³
- COMPONENTE A Líquido viscoso blanquecino
- COMPONENTE B Líquido viscoso negro

RESISTENCIAS

- Resistencia a compresión (ASTM D 695):
1 día: 75 Mpa.
10 días: 90 Mpa.
- Resistencia a flexión (ASTM C 580):
10 días: 34 Mpa
- Adherencia (ASTM C 882):
>13Mpa
- Fuerza de arrancamiento de anclaje en hormigón H25 (Fe A63 -42 H, D = 12 mm, L=12 cm): 6 000 kgf

PROPORCIÓN DE MEZCLA

A : B = 2:1 (en peso)

APLICACIÓN

El consumo aproximado es de 0,3 a 0,5 kg/m, dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.

PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Hormigón:

- Al momento de aplicarse Sikadur® 32 Gel el hormigón debe encontrarse limpio, exento de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas.
- La superficie del hormigón debe limpiarse en forma cuidadosa, hasta llegar al hormigón sano, eliminando totalmente la lechada superficial; esta operación se puede realizar con chorro de agua y arena, escobilla de acero, etc.

Metales:

- Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pinturas, etc. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físico-químicos.

INSTRUCCIONES DE MEZCLADO

Acondicione el producto entre 18 °C y 30 °C antes de usarlo.

Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica durante 3 a 5 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea.

MÉTODO DE APLICACIÓN

La colocación de Sikadur® 32 Gel se realiza con brocha sobre la superficie limpia y con una temperatura mínima de 5 °C.

El hormigón fresco debe ser vaciado antes de 2 horas (a 20 °C) de aplicado Sikadur® 32 Gel; con temperaturas altas este tiempo se acorta. En todo caso, el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él. Pasado ese tiempo se recomienda colocar nuevamente el producto.

PREPARACIÓN Y APLICADO DE LA PINTURA EPÓXICA



Componentes A y B



Mezclado de componentes



Aplicación de la pintura epóxica en las probetas de hormigón quemado

A.4. Características del acelerante de fraguado

Sika® 3

Aditivo de control de fraguado del cemento

GENERAL

Sika® 3 es un aditivo acelerador del fraguado y endurecimiento, a base de cloruros, actúa aumentando la velocidad de hidratación y las reacciones químicas de los constituyentes del cemento.

USOS

Sika® 3 puede ser aplicado en la confección de pastas, morteros y hormigones sin armaduras.

En pastas:

- Sellado de perforaciones en faenas de sondaje.
- Retape de grietas con o sin filtraciones de agua, etc.

En morteros:

- Pega rápida de ladrillos o piedra, reparaciones de pavimentos, nivelación de pisos, obstrucción de grietas y fisuras, etc.

En hormigones:

- Hormigonado en tiempo frío, de manera de obtener un endurecimiento rápido y limitar el tiempo de protección al mínimo.
- Hormigonado rápido de fundaciones o elementos de hormigón expuestos a la acción de aguas subterráneas (nivel freático).
- Obras en donde se requiere una rotación rápida de los encofrados.
- Reducción de las presiones a los encofrados.
- Reparación de pavimentos en carreteras y aeropuertos para una rápida puesta en servicio.
- Construcción o reparación de pozos, cámaras, tuberías.

- Habilitación rápida de trabajos en la industria, depósitos, estacionamientos.
- Corrección de juntas, ángulos zócalos, etc.

VENTAJAS

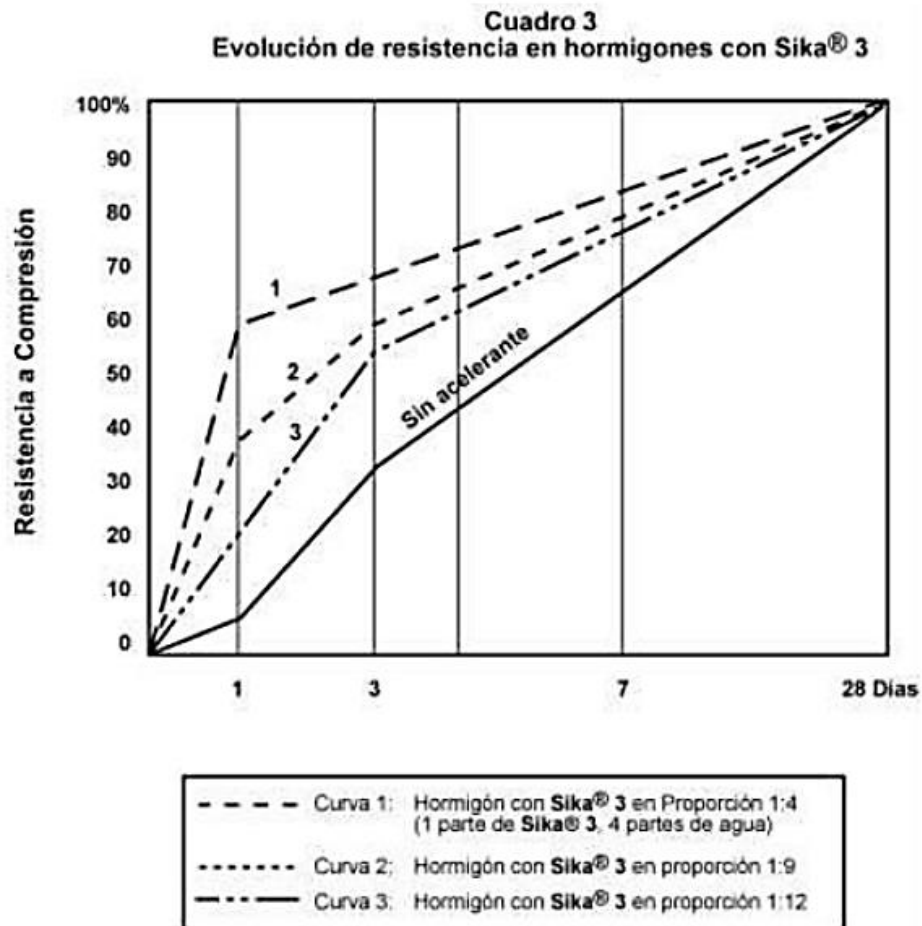
- Dependiendo de las diluciones empleadas en el mortero, el fraguado y el endurecimiento son acelerados desde 1 a 150 minutos.
- Producto no inflamable.

NORMAS Y CERTIFICACIONES

Cumple los requisitos de la norma ASTM - C - 494 tipo C de E.E.U.U.

APARIENCIA Y COLOR

Líquido verde.



Los valores están expresados como porcentajes referidos a la resistencia de 28 días del hormigón patrón (sin aditivo).

ALMACENAMIENTO

Mantener en sitio fresco y bajo techo, conservando el producto en los envases originales bien cerrados.

CONSUMO

Depende de la dilución en agua a realizar:

- En morteros: entre 0,3 a 0,6 kg/m² (por centímetro de espesor).
- En hormigones: entre 19 a 70 kg/m³ aproximadamente por m³ de hormigón.

MÉTODO DE APLICACIÓN

En reparaciones, la superficie sobre la cual se aplica el hormigón, debe estar picada, limpia y saturada con agua.

Debido a que los tiempos de fraguado dependen de factores como:

- Temperatura ambiente y de materiales.
- Tipo, cantidad y grado de meteorización de cemento.
- Cantidad de agua (relación A/C), etc.

No pueden indicarse dosis exactas de aditivos, por lo que se recomienda efectuar ensayos previos con los mismos materiales que se van a utilizar en la obra, para determinar la dilución más favorable.

En hormigón armado, Sika® 3 solo debe usarse diluido en 9 o más partes de agua. Igualmente, para hormigones que contengan embebidos conductos de aluminio o armaduras de ventanas.

En hormigones pretensados donde se requiere elevadas resistencias iniciales, es recomendable utilizar aditivos plastificantes o super plastificantes como el Plastiment® BV. y Sikament® FF 86 respectivamente.

Deben observarse las más estrictas precauciones para un correcto curado del hormigón. En el caso de pavimentos, es recomendable el uso de Sika® Antisol o Sikacure®, compuestos de curado.

JUSTIFICACIÓN DE USO EN EL PROYECTO

A pesar de que inicialmente se indica que se utiliza en hormigones en los que no se utilicen armaduras, también se indica que el acelerante resulta perjudicial en las armaduras cuando la relación de uso es menor de 1:9.

Por esta razón es que se toma la determinación de que se utilice la relación 1:12, y así también poder utilizar la gráfica del cuadro en la que indica el incremento de la resistencia (curva 3).

A.5. Ensayos de los agregados

Los diferentes ensayos realizados en los agregados fueron los siguientes:

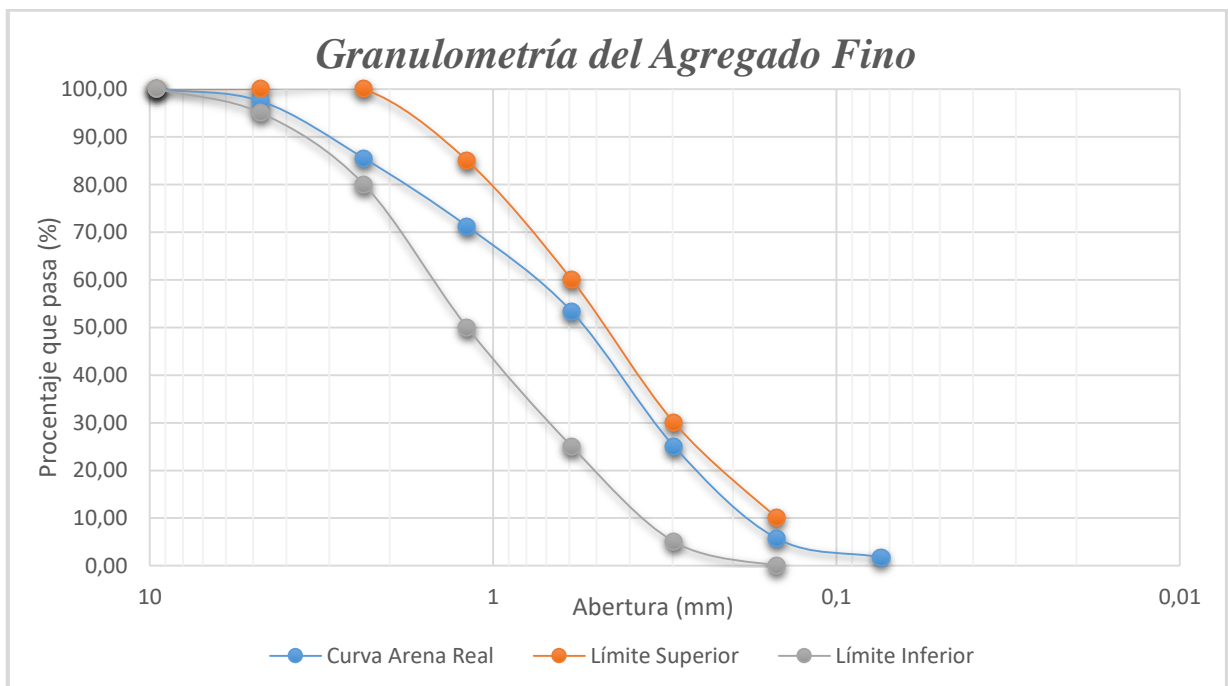
✚ Granulometría del Agregado Fino

Realizado el ensayo se cuenta con la siguiente información:

Peso de la Muestra = 501,9 gr

Tamiz		Peso retenido	Porcentajes			Límite superior	Límite inferior
Designación	Abertura		Retenido	Retenido acumulado	Que pasa		
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
3/8"	9,53	0	0,00	0,00	100,00	100	100
N° 4	4,75	12,7	2,53	2,53	97,47	100	95
N° 8	2,38	60	11,95	14,48	85,52	100	80
N° 16	1,19	71,8	14,31	28,79	71,21	85	50
N° 30	0,59	89,8	17,89	46,68	53,32	60	25
N° 50	0,297	141,9	28,27	74,96	25,04	30	5
N° 100	0,149	96,9	19,31	94,26	5,74	10	0
N° 200	0,074	19,9	3,96	98,23	1,77		
Base		6,6	1,32	99,54	0,46		

Los límites de superior e inferior se describen en la normativa ASTM – C33.



Para la determinación del Módulo de Finura se utiliza la siguiente relación:

$$MF = \frac{\% \sum Ret \left(\frac{3}{8}'' + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100 \right)}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 2,53 + 14,48 + 28,79 + 46,68 + 74,96 + 94,26}{100}$$

$$MF = 2,62$$


Ilustración de parte del ensayo:



Preparado de tamices y el Rop – Tap.



Pesado de la muestra retenida en cada tamiz.

 **Granulometría del Agregado Grueso**

Debido a que el agregado grueso se adquirió en dos partes (grava y gravilla), se determinaron 2 granulometrías:

Por parte de la grava.

Peso de la muestra = 5135 gr.

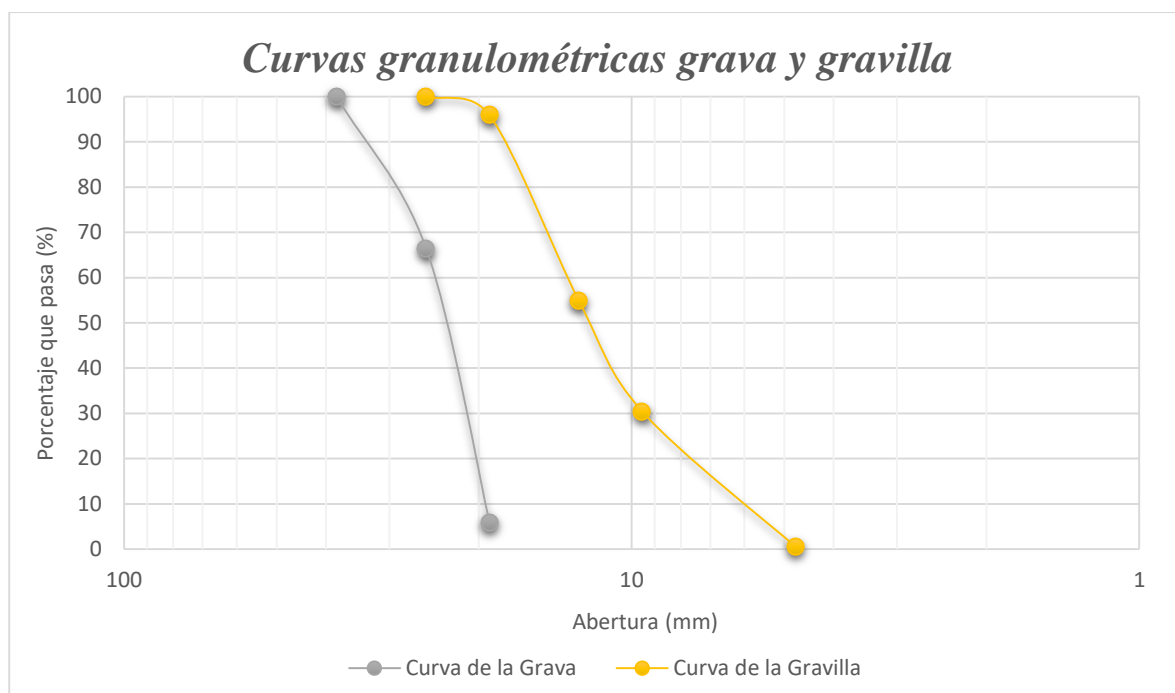
Tamiz		Peso retenido	Porcentajes		
Designación	Abertura		Retenido	Retenido acumulado	Que pasa
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	1720	33,50	33,50	66,50
3/4"	19,05	3115	60,66	94,16	5,84
Base		300	5,84	100,00	0,00

Por parte de la gravilla.

Peso de la muestra = 4230 gr

Tamiz		Peso retenido	Porcentajes		
Designación	Abertura		Retenido	Retenido acumulado	Que pasa
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	175	4,14	4,14	95,86
1/2"	12,7	1735	41,02	45,15	54,85
3/8"	9,53	1035	24,47	69,62	30,38
N° 4	4,75	1265	29,91	99,53	0,47
Base		20	0,47	100,00	0,00

Realizando ambas gráficas:



Para realizar la unión de ambas curvas se asumieron porcentajes de material en peso que corresponderían a cada uno, de esta manera se obtienen los porcentajes siguientes:

Grava 45%

Gravilla 55%

Asumiendo un peso de muestra de = 5000 gr se tiene:

Grava = 2250 gr.

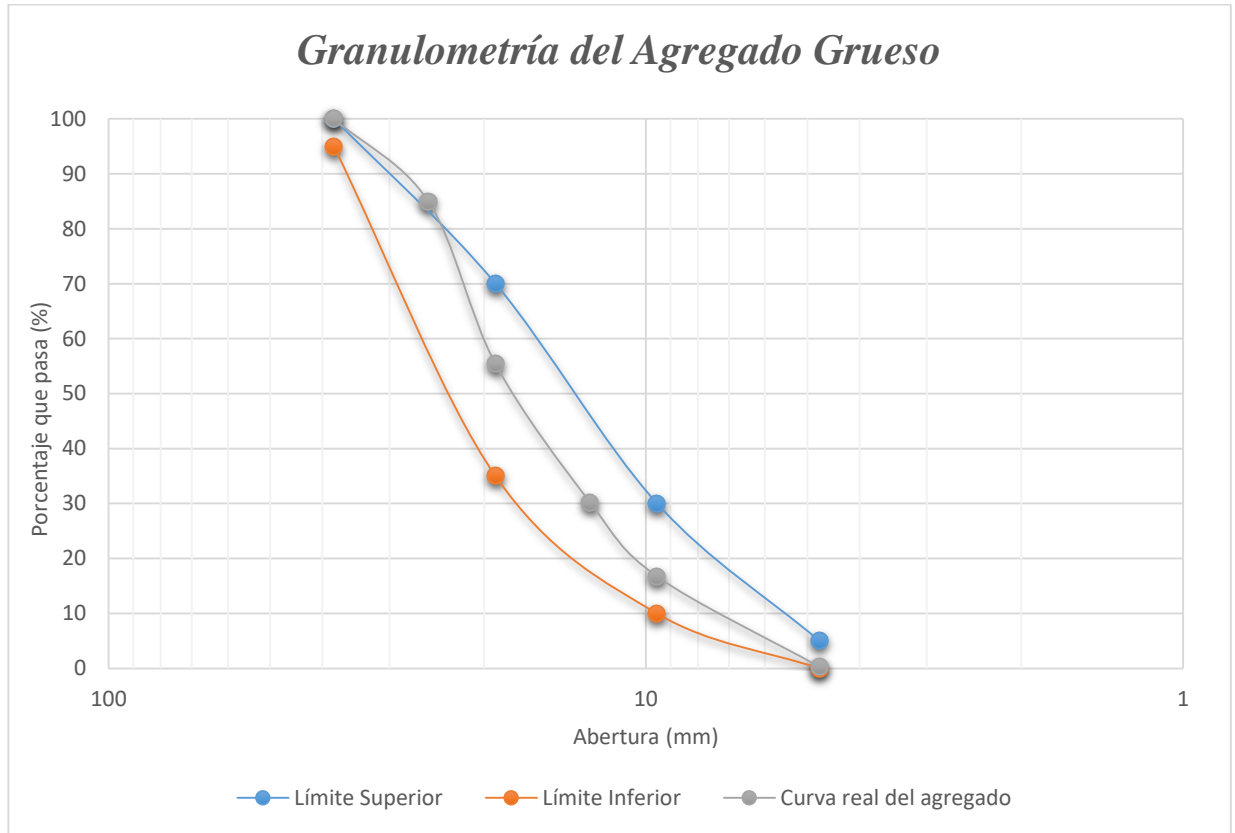
Gravilla = 2750 gr.

Utilizando los porcentajes que retiene cada tamiz de cada material, obtenemos:

Tamiz		Pesos de la grava	Pesos de la gravilla	Peso retenido Total	Porcentajes			Límite superior	Límite inferior
plg	mm				Retenido	Retenido acumulado	Que pasa		
		(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1 1/2"	38,1	0,00		0,00	0,00	0,00	100,00	100	95
1"	25,4	753,65	0,00	753,65	15,07	15,07	84,93		
3/4"	19,05	1364,90	113,77	1478,67	29,57	44,65	55,35	70	35
1/2"	12,7	131,45	1127,96	1259,41	25,19	69,83	30,17		
3/8"	9,53		672,87	672,87	13,46	83,29	16,71	30	10
N° 4	4,75		822,40	822,40	16,45	99,74	0,26	5	0
Base			13,00	13,00	0,26	100,00	0,00		

Los límites superior e inferior se establecen en la normativa ASTM – C33.

Gráficamente se tiene:



De esta manera se determina como:

$$TM = 1 \frac{1}{2}''$$

$$TMN = 1''$$

En cuanto al Módulo de Finura:

$$MF = \frac{\% \sum Ret (1 \frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ} 4 + 500)}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 44,65 + 83,29 + 99,74 + 500}{100}$$

$$MF = 7,28$$

Algunas imágenes de la realización del ensayo:



Preparación de la grava para el tamizado



Realización del tamizado del material seleccionado



Pesado del material retenido en cada tamiz

✚ *Peso Unitario Agregado Grueso*

Datos obtenidos de la realización del ensayo:

Peso del molde = 5755 gr.

Peso del molde + muestra = 22140 gr.

Peso del molde + agua = 15460 gr.

Temperatura del agua = 21° C.

Realización de los cálculos:

La densidad del agua a 21° C es:

$$\rho_a = 0,99808 \text{ gr/cm}^3$$

Para determinar el volumen del recipiente tenemos:

Peso del agua = 9705 gr.

$$V = \frac{\text{Peso}_a}{\rho_a}$$

$$V = \frac{9705}{0,99808}$$

$$V = 9723,67 \text{ cm}^3$$

Entonces para determinar el Peso Unitario Compactado tenemos:

Peso de la muestra = 16385 gr

$$PU_{AG} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$PU_{AG} = \frac{16385}{9723,67}$$

$$PU_{AG} = 1,69 \text{ gr/cm}^3$$

Realización del ensayo:



Llenado del recipiente en 3 capas



Llenado completo del material en el recipiente.



Calibración del molde con agua para determinar el volumen

✚ *Peso Unitario Agregado Fino*

Datos obtenidos de la realización del ensayo:

Peso del molde = 2605 gr.

Peso del molde + muestra = 7330 gr.

Peso del molde + agua = 5590 gr.

Temperatura del agua = 21° C.

Realización de los cálculos:

La densidad del agua a 21° C es:

$$\rho_a = 0,99808 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

Para determinar el volumen del recipiente tenemos:

Peso del agua = 2985 gr.

$$V = \frac{\text{Peso}_a}{\rho_a}$$
$$V = \frac{2985}{0,99808}$$

$$V = 2990,74 \text{ cm}^3$$

Entonces para determinar el Peso Unitario Compactado tenemos:

Peso de la muestra = 4725 gr

$$PU_{AF} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$PU_{AF} = \frac{4725}{2990,74}$$

$$PU_{AF} = 1,58 \text{ gr/cm}^3$$

Realización del ensayo:



Llenado del molde con el agregado fino

✚ *Peso Específico del Agregado Grueso*

Datos obtenidos del ensayo:

Peso de la fuente = 363,6 gr.

Peso de la fuente + muestra secada superficialmente = 5364,2 gr.

Peso de la muestra sumergida y saturada = 3103 gr.

Peso de la muestra seca + fuente = 5302,8 gr

Realización de los cálculos:

A = Peso de la muestra secada en el horno

B = Peso de la muestra secada superficialmente

C = Peso de la muestra sumergida en el agua y saturada

$$A = 4939,2 \text{ gr}$$

$$B = 5000,6 \text{ gr}$$

$$C = 3103 \text{ gr}$$

Peso específico a granel

$$PE_{granel} = \frac{A}{B - C}$$
$$PE_{granel} = \frac{4939,2}{5000,6 - 3103}$$
$$PE_{granel} = 2,60 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico saturado y superficialmente seco

$$PE_{sss} = \frac{B}{B - C}$$
$$PE_{sss} = \frac{5000,6}{5000,6 - 3103}$$
$$PE_{sss} = 2,64 \text{ gr/cm}^3$$

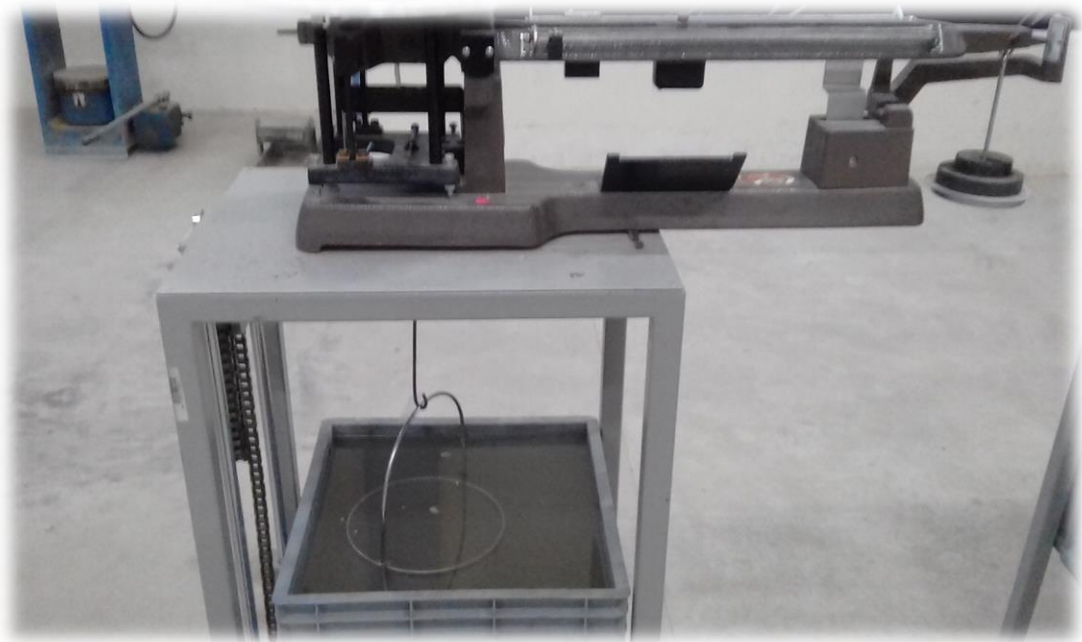
Peso específico aparente

$$PE_{aparente} = \frac{A}{A - C}$$
$$PE_{aparente} = \frac{4939,2}{4939,2 - 3103}$$
$$PE_{aparente} = 2,67 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje de absorción

$$\%A = \frac{B - A}{A}$$
$$\%A = \frac{5000,6 - 4939,2}{4939,2}$$
$$\%A = 1,24 \%$$

Imágenes del ensayo:



Pesado de la muestra sumergida



Lectura del peso de la muestra sumergida

✚ *Peso Específico del Agregado Fino*

Datos obtenidos del ensayo:

Peso de la fuente = 371,3 gr.

Peso del matraz = 187,4 gr

Peso de la fuente + muestra seca = 862,5 gr

Volumen de agua agregada al matraz = 325 cm³

Muestra saturada secada superficialmente = 500 gr.

Realización de los cálculos:

A = Peso de la muestra secada en el horno

V = Volumen del matraz

W = Volumen de agua agregado al matraz

$$A = 491,2 \text{ gr}$$

$$V = 500 \text{ cm}^3$$

$$W = 325 \text{ cm}^3$$

Peso específico a granel

$$PE_{granel} = \frac{A}{V - W}$$
$$PE_{granel} = \frac{491,2}{500 - 325}$$
$$PE_{granel} = 2,81 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico saturado y superficialmente seco

$$PE_{sss} = \frac{500}{V - W}$$
$$PE_{sss} = \frac{500}{500 - 325}$$
$$PE_{sss} = 2,86 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico aparente

$$PE_{aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$
$$PE_{aparente} = \frac{391,2}{(500 - 325) - (500 - 391,2)}$$
$$PE_{aparente} = 2,96 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje de absorción

$$\%A = \frac{500 - A}{A}$$
$$\%A = \frac{500 - 491,2}{491,2}$$
$$\%A = 1,79 \%$$

Imágenes de la realización del ensayo:



Preparación de la muestra para ser secada superficialmente



Secado del material con la secadora



Secado del material hasta que se desmorone del cono



Colocado del material dentro del matraz y agregado del agua

✚ Características del Cemento Portland

Se utiliza cemento de la marca “El Puente”, la cual ofrece los siguientes datos:

		Mes/Año Fabricación		N.B.	EL PUENTE	N.B.	EL PUENTE
				IP-40	IP-40	IP-30	IP-30
ANALISIS QUIMICOS	PPF	%	< 7	3,33	< 7	3,80	
	SiO ₂	%		30,28		28,99	
	Al ₂ O ₃	%		4,86		4,80	
	Fe ₂ O ₃	%		2,76		2,75	
	CaO	%		51,37		51,00	
	MgO	%	< 6,0	2,01	< 6,0	1,93	
	SO ₃	%	< 4,0	1,90	< 4,0	1,79	
	R.I.	%		10,69		6,09	
ENSAYOS	Cal Libre	%		1,23		0,97	
	Malla + 200	%		0,9		1,48	
	Malla + 325	%		6,8		9,48	
PESO ESPECIFICO		gr/cc		2,98		3,01	
FISICOS Y MECANICOS	BLAINE COMUN		cm ² /g	> 2800	5109	> 2600	4463
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	hs:min	> 0:45	2:36	> 0:60	3:05
		FINAL	hs:min	< 10:00	4:39	< 12:00	4:59
	EXPANSION LE CHAT.		mm.	< 8	0,0	< 8	0,0
	RESISTENCIAS A LA COMPRESION	A 3 DIAS	MPa	> 17	23,8	> 10	20,1
		A 7 DIAS	MPa	> 25	29,1	> 17	26,7
	A 28 DIAS	MPa	> 40	40,4	> 30	36,2	



En nuestro caso se utiliza cemento IP – 30, cuyo peso específico es de:

$$PE_c = 3,01 \text{ gr/cm}^3$$

A.6. Dosificación de hormigones

La dosificación de los hormigones se la realizará por el método ACI, asumiendo ciertos factores y trabajando con los resultados de los ensayos realizados a los agregados. De acuerdo a lo mencionado anteriormente se muestra el cálculo de los hormigones, tanto el normal inicial, normal final y el de recubrimiento.

Hormigón Normal Inicial

La resistencia característica adoptada es de $200 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ MPa}$

Según la normativa ACI 318S – 05 indica que la resistencia promedio de cálculo debe ser incrementada según se indica en la tabla A, dependiendo de la resistencia característica para determinar el valor de incremento.

Tabla A: Resistencia promedio a la compresión requerida

Resistencia especificada a la compresión, en MPa.	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 20$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$20 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,10f'_c + 5,0$

Fuente: Normativa ACI 318S, (2005). Requisitos de reglamento para concreto

Se utiliza esta tabla de la normativa ya que no se cuenta con valores de desvío estándar de la muestra, previos a los realizados con dichos materiales.

Puesto a que la resistencia especificada es de 20 MPa, la resistencia promedio requerida según la normativa es:

$$f'_{cr} = f'_c + 8,5$$

$$f'_{cr} = 20 + 8,5$$

$$f'_{cr} = 28,5 \text{ MPa} = 285 \text{ kg/cm}^2$$

Una de los factores importantes a tomar en cuenta es el asentamiento que se determina mediante el cono de Abrams, por lo que en la tabla B se indican valores recomendables a usar dependiendo del tipo de elemento constructivo.

Tabla B: Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas. (reforzados)	7,5	2,5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos.	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados.	10	2,5
Columnas para edificios.	10	2,5
Pavimentos y losas.	7,5	2,5
Concreto masivo.	7,5	2,5
*Se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos. Se puede incrementar 2,5cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.		

Fuente: Hernández, N. René, J. (sf) Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Las proporciones de material que se determina, son para el estudio en columnas de hormigón armado. Por lo que los asentamientos recomendados están entre:

$$Asen = 10 - 2,5 \text{ cm}$$

Asumimos un valor de:

$$Asen = 5 \text{ cm}$$

Una vez determinado el valor del asentamiento, se determina la cantidad de agua y el porcentaje de aire mediante la tabla C. El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 25mm, cuyo valor es necesario para extraer información de la tabla.

Tabla C: Requerimientos aproximados de agua de mezclado.

Condición del contenido de aire	Asentamiento (cm)	Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Fuente: Hernández, N. René, J. (sf) *Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.*

Según la tabla tenemos:

$$\text{Agua} = 180 \text{ lts}/\text{m}^3$$

$$\% \text{ aire} = 1,5 \%$$

Una vez determinada la cantidad de agua, se determina la relación agua – cemento y así poder determinar la cantidad de cemento.

Los valores de la relación agua – cemento se determinan mediante la resistencia característica, la cual se muestra en la tabla D.

Tabla D: Relación entre la resistencia a compresión y algunos valores de A/C

Resistencia a la compresión a los 28 días		Concreto sin inductor de aire (relación absoluta por peso)	Concreto con inductor de aire (relación absoluta por peso)
kg/cm ²	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,5
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,4	0,35

Fuente: Hernández, N. René, J. (sf) Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Entonces si la resistencia promedio es de:

$$f'_{cr} = 285 \text{ kg/cm}^2$$

Se determina por interpolación el siguiente valor de relación:

$$A/C = 0,464$$

Con el valor de relación a/c se puede determinar la cantidad de cemento:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{A/C}$$

$$\text{Cemento} = \frac{180}{0,464}$$

$$\text{Cemento} = 382,98 \text{ kg/m}^3$$

Una vez determinados los valores de cemento y agua, se determinan las cantidades de arena y grava, de manera que para determinar el volumen de grava se utilizan los valores de la tabla E.

Tabla E: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Máximo tamaño nominal de agregados		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
		Módulo de finura			
Pulgadas	mm	2,4	2,6	2,8	3,0
3/8	9,51	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,6
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,8	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Hernández, N. René, J. (sf) Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Las características de los agregados son:

$$TMN = 25,4 \text{ mm}$$

$$MF \text{ arena} = 2,62$$

Interpolando valores de la tabla obtenemos:

$$V_{AG} = 0,688 \text{ m}^3$$

Para determinar el peso de grava se utiliza el valor del peso unitario:

$$PU_{AG} = 1,69 \text{ gr/cm}^3 = 1690 \text{ kg/m}^3$$

Peso del agregado grueso:

$$P_{AG} = V_{AG} * PU_{AG}$$

$$P_{AG} = 0,688 * 1690$$

$$P_{AG} = \mathbf{1162,72 \text{ kg/m}^3}$$

El volumen de arena se determina por suma algebraica de los demás componentes, en esta operación se utilizan los pesos específicos aparentes del cemento y grava:

$$PE_{cem} = 3,01 \text{ gr/cm}^3 = 3010 \text{ kg/m}^3$$

$$PE_{AG} = 2,67 \text{ gr/cm}^3 = 2670 \text{ kg/m}^3$$

Volumen de Agregado fino:

$$1 \text{ m}^3 = V_{agua} + V_{cem} + V_{AG} + V_{AF} + V_{aire}$$

$$V_{AF} = 1 - V_{agua} - V_{cem} - V_{AG} - V_{aire}$$

$$V_{AF} = 1 - \frac{180}{1000} - \frac{382,98}{3010} - \frac{1162,72}{2670} - \frac{1,5}{100}$$

$$V_{AF} = \mathbf{0,242 \text{ m}^3}$$

Para determinar el valor del peso del agregado fino se utiliza el peso específico aparente de la arena:

$$PE_{AF} = 2,96 \text{ gr/cm}^3 = 2960 \text{ kg/m}^3$$

Peso del agregado fino:

$$P_{AG} = V_{AF} * PE_{AF}$$

$$P_{AG} = 0,242 * 2960$$

$$P_{AG} = \mathbf{716,32 \text{ kg/m}^3}$$

Resumiendo, se tienen las siguientes proporciones:

$$\text{Cemento} = 382,98 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Agua} = 180,00 \text{ lts}/\text{m}^3$$

$$\text{Grava} = 1162,72 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Arena} = 716,32 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Realizada la rotura de probetas con esta dosificación se obtuvieron valores de resistencia bajos por lo que fue necesario realizar un ajuste a las cantidades o en este caso una re – dosificación.

Como el valor de resistencia proyectada a los 28 días fue de 154,20 kg/cm², se incrementó a la resistencia especificada o característica 50 kg/cm².

Debido a este incremento el hormigón de diseño cambió de:

$$200 \text{ kg}/\text{cm}^2 \rightarrow 250 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$20 \text{ MPa} \rightarrow 25 \text{ MPa}$$

Hormigón Normal Ajustado

La resistencia característica es de 250 kg/cm² = 25 MPa

Realizado el incremento a la resistencia promedio de cálculo según se indica en la tabla A, ya que la resistencia especificada es de 25 MPa, la resistencia promedio requerida según la normativa es:

$$f'_{cr} = f'_c + 8,5$$

$$f'_{cr} = 25 + 8,5$$

$$f'_{cr} = 33,5 \text{ MPa} = 335 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

Las proporciones de material que se determina, son para el estudio en columnas de hormigón armado. El asentamiento en el cono de Abrams se mantiene:

$$\mathbf{Asen = 5\ cm}$$

Una vez determinado el valor del asentamiento, se determina la cantidad de agua y el porcentaje de aire mediante la tabla C. El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 25mm. Según la tabla tenemos:

$$Agua = 180\ \text{lbs}/\text{m}^3$$

$$\% \text{ aire} = 1,5\ \%$$

Una vez determinada la cantidad de agua, se determina la relación agua – cemento y así poder determinar la cantidad de cemento.

Los valores de la relación agua – cemento se determinan mediante la resistencia característica, la cual se muestra en la tabla D.

Entonces si la resistencia promedio es de:

$$f'_{cr} = 335\ \text{kg}/\text{cm}^2$$

Se determina por interpolación el siguiente valor de relación:

$$\mathbf{A/C = 0,413}$$

Con el valor de relación a/c se puede determinar la cantidad de cemento:

$$Cemento = \frac{Agua}{A/C}$$

$$Cemento = \frac{180}{0,413}$$

$$\mathbf{Cemento = 435,84\ \text{kg}/\text{m}^3}$$

Una vez determinados los valores de cemento y agua, se determinan las cantidades de arena y grava, de manera que para determinar el volumen de grava se utilizan los valores de la tabla E. Las características de los agregados son:

$$TMN = 25,4 \text{ mm}$$

$$MF \text{ arena} = 2,62$$

Interpolando valores de la tabla obtenemos:

$$V_{AG} = \mathbf{0,688 \text{ m}^3}$$

Para determinar el peso de grava se utiliza el valor del peso unitario:

$$PU_{AG} = 1,69 \text{ gr/cm}^3 = 1690 \text{ kg/m}^3$$

Peso del agregado grueso:

$$P_{AG} = V_{AG} * PU_{AG}$$

$$P_{AG} = 0,688 * 1690$$

$$P_{AG} = \mathbf{1162,72 \text{ kg/m}^3}$$

El volumen de arena se determina por suma algebraica de los demás componentes, en esta operación se utilizan los pesos específicos aparentes del cemento y grava:

$$PE_{cem} = 3,01 \text{ gr/cm}^3 = 3010 \text{ kg/m}^3$$

$$PE_{AG} = 2,67 \text{ gr/cm}^3 = 2670 \text{ kg/m}^3$$

Volumen de Agregado fino:

$$1 \text{ m}^3 = V_{agua} + V_{cem} + V_{AG} + V_{AF} + V_{aire}$$

$$V_{AF} = 1 - V_{agua} - V_{cem} - V_{AG} - V_{aire}$$

$$V_{AF} = 1 - \frac{180}{1000} - \frac{435,84}{3010} - \frac{1162,72}{2670} - \frac{1,5}{100}$$

$$V_{AF} = \mathbf{0,225 \text{ m}^3}$$

Para determinar el valor del peso del agregado fino se utiliza el peso específico aparente de la arena:

$$PE_{AF} = 2,96 \text{ gr/cm}^3 = 2960 \text{ kg/m}^3$$

Peso del agregado fino:

$$P_{AG} = V_{AF} * PE_{AF}$$

$$P_{AG} = 0,225 * 2960$$

$$P_{AG} = 666,00 \text{ kg/m}^3$$

Resumiendo, se tienen las siguientes proporciones:

$$\text{Cemento} = 435,84 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 180,00 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Grava} = 1162,72 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena} = 666,00 \text{ kg/m}^3$$

Con esta dosificación el valor promedio de resistencia a los 28 fue de 209,96 kg/cm² superando los 200 kg/cm² iniciales.

Hormigón Recubrimiento

Puesto a que la anterior dosificación cumplió con la resistencia superior a los 200 kg/cm², entonces al hormigón de recubrimiento también se le incrementará 50 kg/cm² en su dosificación, y de este modo garantizar una resistencia superior.

La resistencia característica adoptada es de 250 kg/cm² = 25 MPa

Realizado el incremento a la resistencia promedio de cálculo según se indica en la tabla A, ya que la resistencia especificada es de 25 MPa, la resistencia promedio requerida según la normativa es:

$$f'_{cr} = f'_c + 8,5$$

$$f'_{cr} = 25 + 8,5$$

$$f'_{cr} = 33,5 \text{ MPa} = 335 \text{ kg/cm}^2$$

Las proporciones de material que se determina, son para el estudio en columnas de hormigón armado. El asentamiento en el cono de Abrams se mantiene:

$$A_{sen} = 5 \text{ cm}$$

Una vez determinado el valor del asentamiento, se determina la cantidad de agua y el porcentaje de aire mediante la tabla C. El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 12,7mm; se trabajará solamente con la gravilla, ya que el espesor del encamisado es de 2,5cm y es necesario tener material de menor diámetro de partícula.

Según la tabla tenemos:

$$Agua = 200 \text{ lts/m}^3$$

$$\% \text{ aire} = 2,5 \%$$

Una vez determinada la cantidad de agua, se determina la relación agua – cemento y así poder determinar la cantidad de cemento.

Los valores de la relación agua – cemento se determinan mediante la resistencia característica, la cual se muestra en la tabla D.

Entonces si la resistencia promedio es de:

$$f'_{cr} = 335 \text{ kg/cm}^2$$

Se determina por interpolación el siguiente valor de relación:

$$A/C = 0,413$$

Con el valor de relación a/c se puede determinar la cantidad de cemento:

$$Cemento = \frac{Agua}{A/C}$$

$$Cemento = \frac{200}{0,413}$$

$$Cemento = 484,26 \text{ kg/m}^3$$

Una vez determinados los valores de cemento y agua, se determinan las cantidades de arena y gravilla, de manera que para determinar el volumen de gravilla se utilizan los valores de la tabla E. Las características de los agregados son:

$$TMN = 12,7 \text{ mm}$$

$$MF \text{ arena} = 2,62$$

Interpolando valores de la tabla obtenemos:

$$V_{AG} = 0,568 \text{ m}^3$$

Para determinar el peso de gravilla se utiliza el valor del peso unitario:

$$PU_{AG} = 1,69 \text{ gr/cm}^3 = 1690 \text{ kg/m}^3$$

Peso del agregado grueso:

$$P_{AG} = V_{AG} * PU_{AG}$$

$$P_{AG} = 0,568 * 1690$$

$$P_{AG} = 959,92 \text{ kg/m}^3$$

El volumen de arena se determina por suma algebraica de los demás componentes, en esta operación se utilizan los pesos específicos aparentes del cemento y gravilla:

$$PE_{cem} = 3,01 \text{ gr/cm}^3 = 3010 \text{ kg/m}^3$$

$$PE_{AG} = 2,67 \text{ gr/cm}^3 = 2670 \text{ kg/m}^3$$

Volumen de Agregado fino:

$$1 \text{ m}^3 = V_{agua} + V_{cem} + V_{AG} + V_{AF} + V_{aire}$$

$$V_{AF} = 1 - V_{agua} - V_{cem} - V_{AG} - V_{aire}$$

$$V_{AF} = 1 - \frac{200}{1000} - \frac{484,26}{3010} - \frac{959,92}{2670} - \frac{2,5}{100}$$

$$\mathbf{V_{AF} = 0,255 \text{ m}^3}$$

Para determinar el valor del peso del agregado fino se utiliza el peso específico aparente de la arena:

$$PE_{AF} = 2,96 \text{ gr/cm}^3 = 2960 \text{ kg/m}^3$$

Peso del agregado fino:

$$P_{AG} = V_{AF} * PE_{AF}$$

$$P_{AG} = 0,255 * 2960$$

$$\mathbf{P_{AG} = 754,80 \text{ kg/m}^3}$$

Resumiendo, se tienen las siguientes proporciones:

$$\text{Cemento} = 484,26 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Agua} = 200,00 \text{ lts}/\text{m}^3$$

$$\text{Grava} = 959,92 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Arena} = 754,80 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Con esta dosificación el valor promedio de resistencia a los 7 días fue de 173,27 kg/cm² y una proyección de 231,02 kg/cm² a los 28 días.

A.7. Probetas Patrón

Hormigonado de las probetas:



Preparado del hormigón

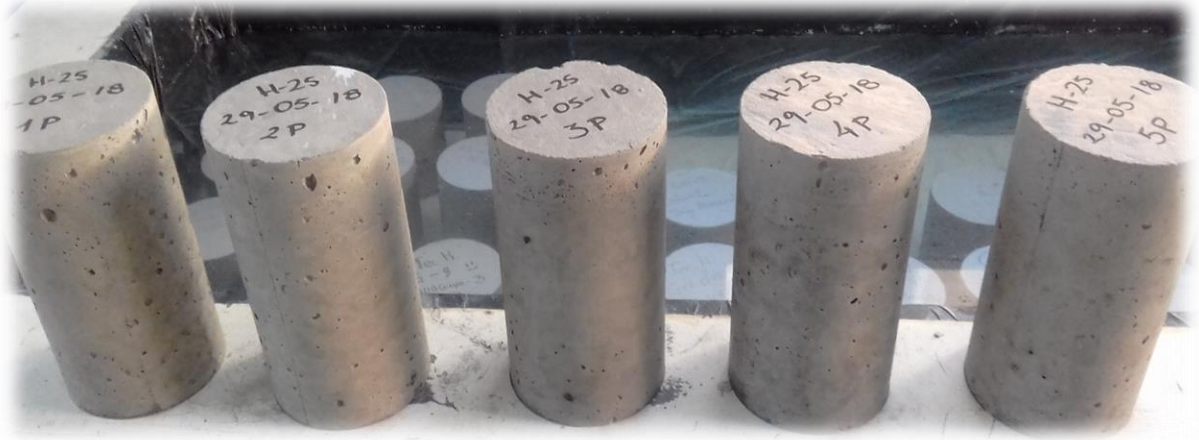


Colocado del hormigón en los moldes



Guardado de probetas en el laboratorio

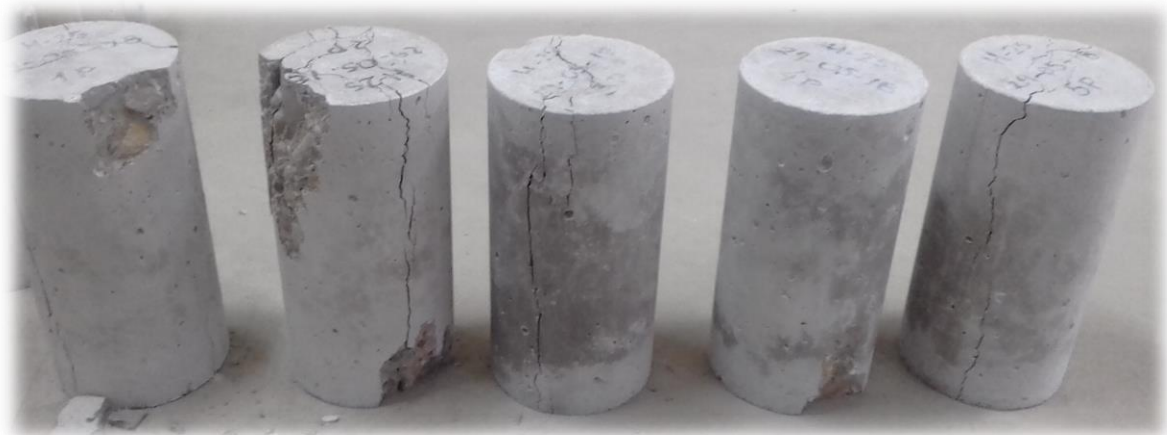
Realización del ensayo a rotura de las probetas patrón a los 28 días:



Extracción de las probetas de la piscina.



Vista superior de probetas después del ensayo (4P sin daños)



Vista lateral de las probetas (4P dañada en la parte inferior)

A.8. Probetas del hormigón de recubrimiento

Ensayo de rotura de las probetas con hormigón de recubrimiento:



Vista superior de las probetas después del ensayo



Vista lateral de las probetas (fallos en los bordes)

A.9. Ensayo de quemado y detalle de probetas quemadas

Realización del ensayo del quemado en el horno de las probetas:



Colocado de la probeta en el horno



Control de la temperatura de ensayo



Extracción de la probeta del horno



Extracción de la probeta con ganchos y guantes



Manejo de la probeta con ganchos para evitar quemaduras



Llevado de la probeta a un tanque de agua



Probeta sometida al choque térmico



Extracción de la probeta del tanque de agua



Después de varios minutos sumergida continua caliente

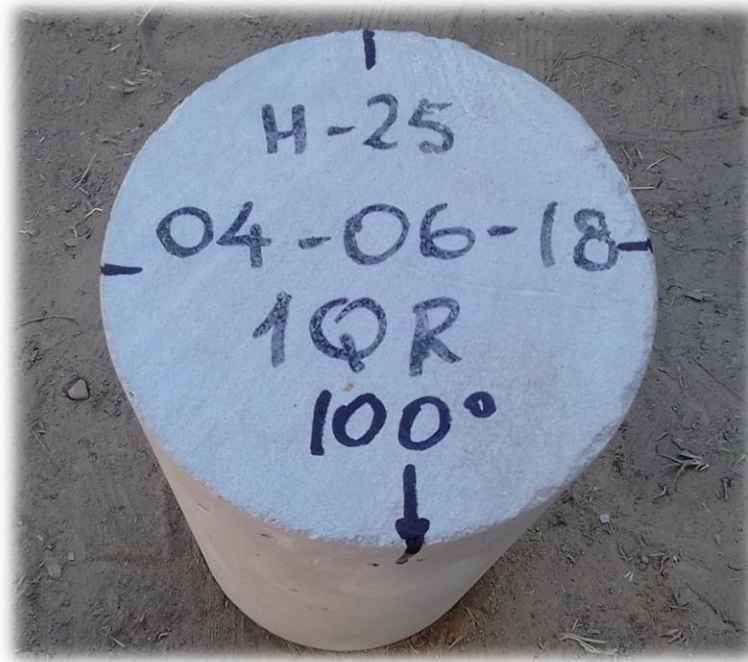


Colocado sobre el suelo



Cambio de color de la superficie

Imágenes de probetas antes y después de ser quemadas:



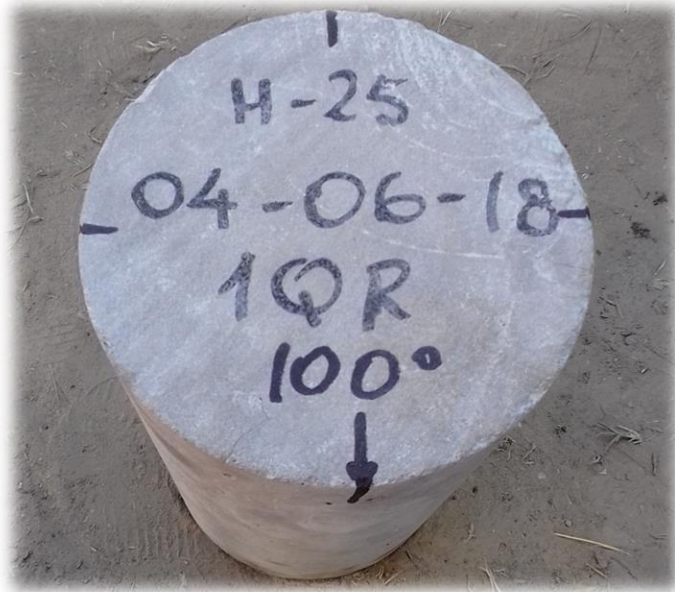
Vista superior (antes del quemado)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



Vista superior (después del ensayo)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



Vista superior (antes del quemado)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



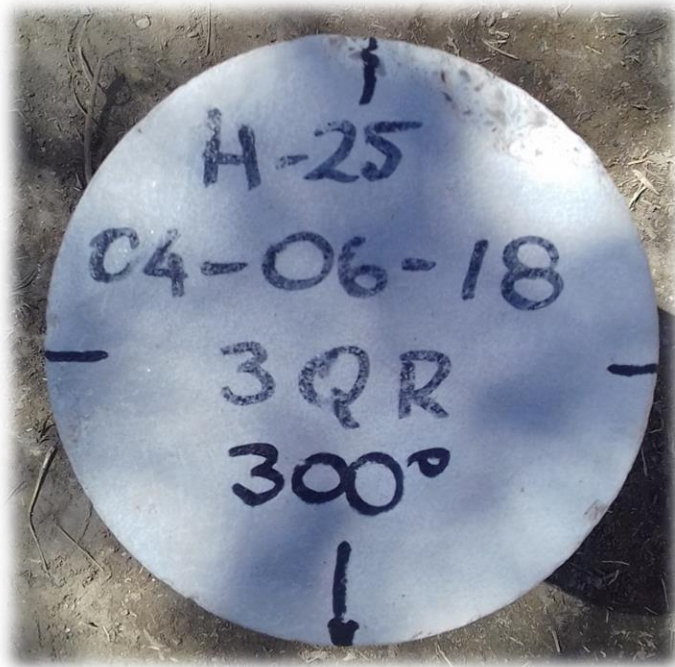
Vista superior (después del ensayo)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



Vista superior (antes del quemado)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



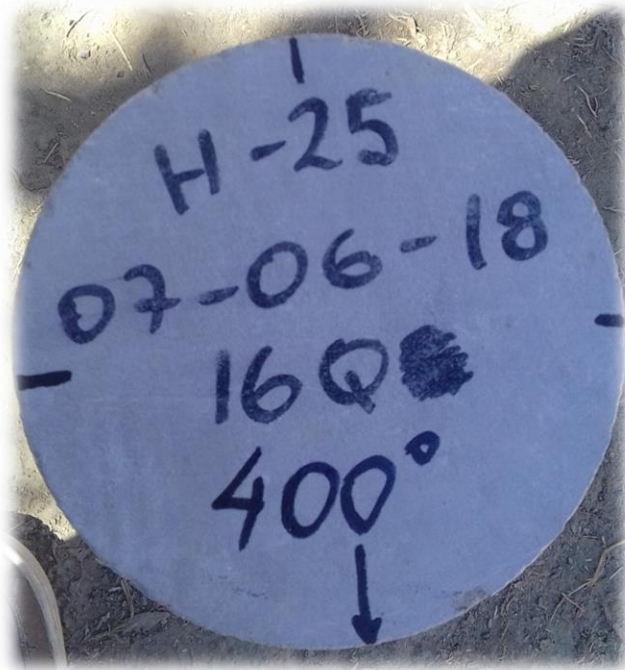
Vista superior (después del ensayo)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



Vista superior (antes del quemado)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto



Vista superior (después del ensayo)



Vista lateral en contacto con el fuego



Vista lateral sin contacto

A.10. Ensayo a compresión a probetas solamente quemadas

- A 100° C



Vista superior



Vista lateral abajo

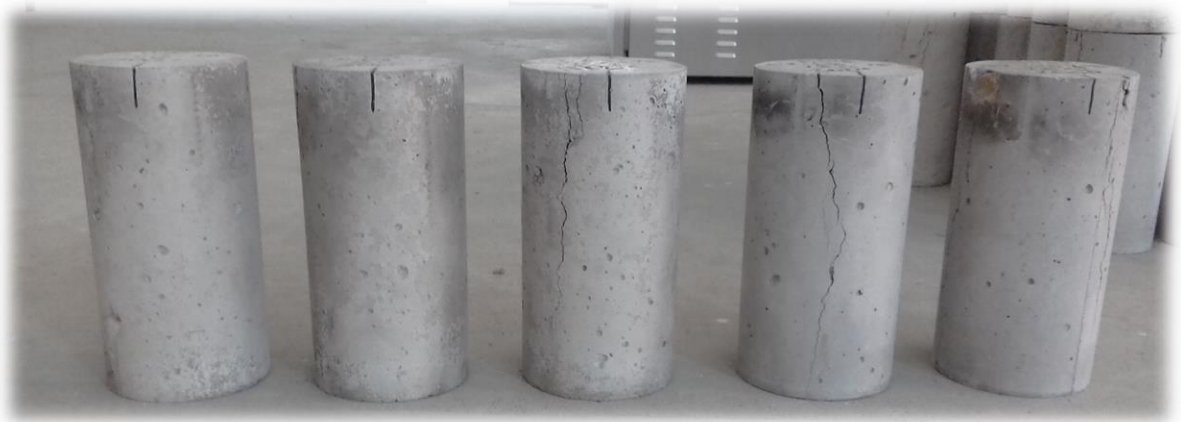


Vista lateral arriba

- A 200° C



Vista superior



Vista lateral abajo

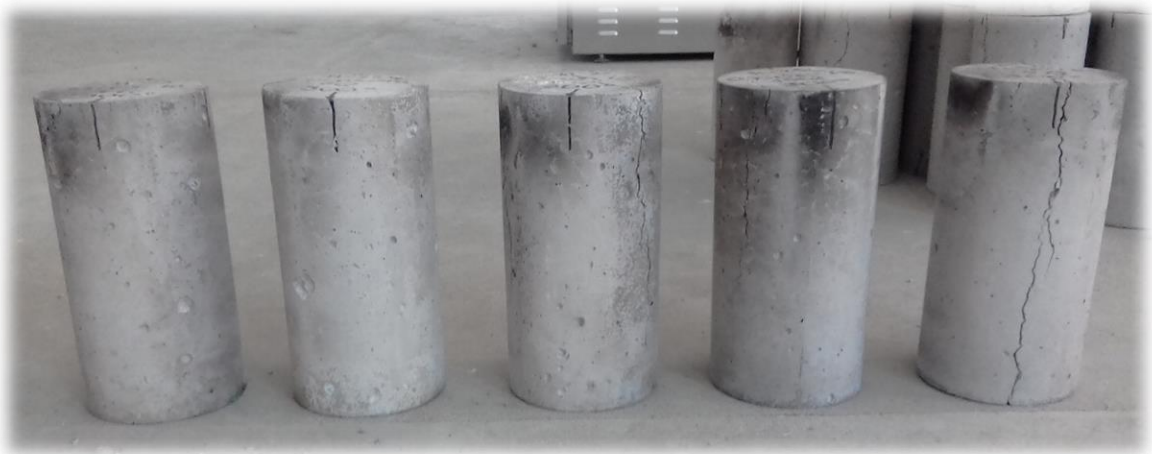


Vista lateral arriba

- A 300° C



Vista superior



Vista lateral abajo

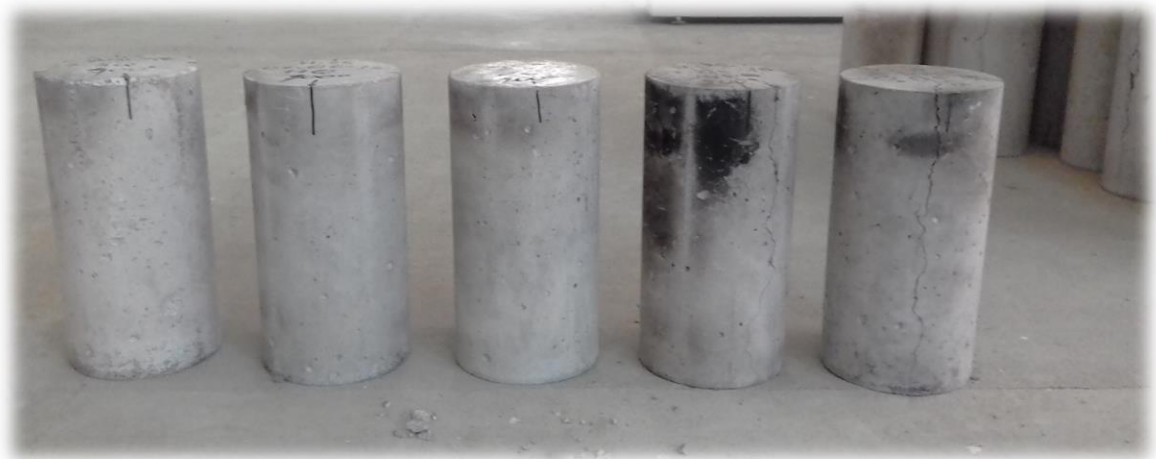


Vista lateral arriba

- A 400° C



Vista superior



Vista lateral abajo



Vista lateral arriba

A.11. Realización del encamisado



Preparado de probetas para el hormigonado



Llenado del material de encamisado en el molde

A.12. Ensayo a compresión de probetas con encamisado



Probetas después del ensayo de rotura



Vista superior de las probetas con fallo

A.13. Cálculo de esfuerzos característicos

Los diferentes tipos de hormigones cuentan con su respectivo cálculo de esfuerzos característicos por la distribución Gaussiana:

- Hormigón patrón de recubrimiento (a los 7 días)

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 173,27 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
166,20	-7,06	-0,0408	0,00166
172,32	-0,94	-0,0054	0,00003
181,28	8,01	0,0462	0,00214
Suma			0,003828

$$\delta = \sqrt{\frac{0,003828}{3}}$$

$$\delta = 0,03572 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 173,27 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 144,85 \text{ kg/cm}^2$$

➤ Hormigones quemados

De 100° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 205,11 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
199,35	-5,763397	-0,0281	0,00079
219,74	14,62217	0,0713	0,00508
200,33	-4,781656	-0,0233	0,00054
195,66	-9,459363	-0,0461	0,00213
210,50	5,382251	0,0262	0,00069
Suma			0,009230

$$\delta = \sqrt{\frac{0,009230}{5}}$$

$$\delta = 0,04297 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 205,11 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 171,47 \text{ kg/cm}^2$$

De 200° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 183,39 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
172,15	-11,24	-0,0613	0,00376
172,90	-10,49	-0,0572	0,00327
175,39	-8,00	-0,0436	0,00190
188,26	4,87	0,0266	0,00071
208,24	24,86	0,1355	0,01837
Suma			0,028006

$$\delta = \sqrt{\frac{0,028006}{5}}$$

$$\delta = 0,07484 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 183,39 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 153,31 \text{ kg/cm}^2$$

De 300° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 181,86 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)^2$
196,52	14,66	0,0806	0,00650
153,79	-28,08	-0,1544	0,02384
175,04	-6,83	-0,0375	0,00141
200,45	18,58	0,1022	0,01044
183,53	1,66	0,0091	0,00008
Suma			0,042265

$$\delta = \sqrt{\frac{0,042265}{5}}$$

$$\delta = 0,09194 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 181,86 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 152,03 \text{ kg/cm}^2$$

De 400° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 175,08 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)^2$
173,36	-1,72	-0,0098	0,00010
185,20	10,12	0,0578	0,00334
172,32	-2,76	-0,0158	0,00025
152,29	-22,80	-0,1302	0,01696

192,25	17,16	0,0980	0,00961
Suma			0,030251

$$\delta = \sqrt{\frac{0,030251}{5}}$$

$$\delta = 0,07778 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 175,08 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 146,37 \text{ kg/cm}^2$$

➤ Hormigones quemados y encamisados

De 100° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 153,37 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
151,80	-1,579087	-0,0103	0,00011
145,94	-7,432988	-0,0485	0,00235
162,39	9,012075	0,0588	0,00345
Suma			0,005907

$$\delta = \sqrt{\frac{0,005907}{3}}$$

$$\delta = 0,04437 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 153,37 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 128,22 \text{ kg/cm}^2$$

De 200° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 143,96 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
143,44	-0,52	-0,0036	0,00001
148,41	4,46	0,0309	0,00096
140,02	-3,94	-0,0273	0,00075
Suma			0,001719

$$\delta = \sqrt{\frac{0,001719}{3}}$$

$$\delta = 0,02393 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 143,96 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 120,35 \text{ kg/cm}^2$$

De 300° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 138,46 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
142,52	4,06	0,0293	0,00086
127,43	-11,03	-0,0797	0,00635
132,98	-5,48	-0,0396	0,00157
150,92	12,45	0,0899	0,00809
Suma			0,016862

$$\delta = \sqrt{\frac{0,016862}{4}}$$

$$\delta = 0,06493 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 138,46 * (1 - 1,64 * 0,10)$$

$$f_{ck} = 115,75 \text{ kg/cm}^2$$

De 400° C

Esfuerzo promedio:

$$f_{cm} = 129,97 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del desvío:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

f_{ci}	$f_{ci} - f_{cm}$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)$	$\left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2$
149,73	19,76	0,1520	0,02312
133,69	3,72	0,0286	0,00082
126,65	-3,32	-0,0255	0,00065
109,80	-20,17	-0,1552	0,02408
Suma			0,048666

$$\delta = \sqrt{\frac{0,048666}{4}}$$

$$\delta = 0,11030 \geq 0,10$$

Entonces el Esfuerzo Característico es:

$$f_{ck} = f_{cm} (1 - 1,64 * \delta)$$

$$f_{ck} = 129,97 * (1 - 1,64 * 0,11030)$$

$$f_{ck} = 106,46 \text{ kg/cm}^2$$