



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco  
Sede Trelew - Facultad de Ingeniería - Laboratorio de  
Investigaciones y Ensayos Viales



# PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE HORMIGONES  
SEGÚN CÓDIGO ACI PRC 211-1 2022  
MODIFICANDO CONTENIDO DE AGUA Y  
RELACIÓN A/C

Alumna: Candela Sánchez

DNI: 38.802.921

N° Matrícula: 5787

Lugar de realización de las PPS: Laboratorio de  
Investigaciones y Ensayos Viales (LABIEVI), Trelew

Fecha de inicio: 26 de septiembre 2023

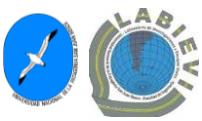
Fecha de finalización: 15 de noviembre 2024

Tutor externo: Ing. Alejandro Jones

Tutor académico: Ing. Martín Monsalve

## Contenido

<b>RESUMEN DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>VALORACIONES DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>MUESTREO DE AGREGADO PARA HORMIGONES.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>ENSAYOS PREVIOS.....</b>	<b>- 4 -</b>
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	- 4 -
TAMIZADO VÍA HÚMEDA QUE PASA POR EL TAMIZ 75MM .....	- 9 -
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN .....	- 11 -
PUV (DENSIDAD A GRANEL Y ESPACIOS VACÍOS) .....	- 15 -
DENSIDAD DEL CEMENTO .....	- 17 -
<b>DOSIFICACIÓN SEGÚN MÉTODO ACI PRC 211-1 2022.....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO DE UNA MEZCLA.....</b>	<b>- 24 -</b>
RESULTADOS OBTENIDOS .....	- 26 -
<b>ARMADO Y CURADO DE PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN .....</b>	<b>- 28 -</b>
CONCLUSIONES PARCIALES.....	- 31 -
<b>NUEVO ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS .....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>- 41 -</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>- 42 -</b>



## Resumen de la práctica profesional supervisada

En el siguiente informe se detallan las actividades que conforman el desarrollo de la Práctica Profesional Supervisada realizada en el Laboratorio de Investigaciones y Ensayos Viales (LABIEVI) en la ciudad de Trelew. El mismo consiste en el análisis de la influencia del contenido de agua y la razón agua cemento en la consistencia de una mezcla de hormigón con materiales de la zona.

## Cronograma de actividades

Se dió comienzo a las actividades el día 26 de septiembre del año 2023, donde hasta el día 24 de octubre de 2023 se realizaron los ensayos previos a la elaboración de pastones de hormigón.

El día 02 de noviembre de 2023 se comenzó con la elaboración de los pastones para realizar los ensayos de asentamiento y resistencia, finalizando dicha etapa el día 15 de abril de 2024.

El 04 de junio de 2024 se comenzó con la segunda parte de las prácticas, en donde se realizaron pastones de prueba para luego hormigonar, finalizando el día 08 de agosto de 2024.

Luego, se continuó con el análisis de los datos obtenidos, finalizando el día 15 de noviembre de 2024.

## Valoraciones de las actividades desarrolladas

A través de las actividades desarrolladas, se pudieron afianzar conocimientos sobre el trabajo en el laboratorio y la importancia del correcto uso de las Normas y el Reglamento para que las tareas sean realizadas correctamente y los resultados obtenidos sean confiables.

Se valoró la importancia de la ejecución ordenada de las tareas que lleva a tener un mejor control del trabajo y los resultados.

Se logró llevar a la práctica lo aprendido en el aula de forma satisfactoria, aprendiendo de los inconvenientes que se han presentado en el transcurso del trabajo y de los procedimientos realizados correctamente.

## Introducción

El diseño de mezclas de hormigón basados en la reología es muy importante debido a que la trabajabilidad es un factor clave para la correcta colocación y compactación. Es crucial poder predecir y controlar la demanda de agua para que también las propiedades en estado endurecido sean las especificadas.

Comprobar que las características de calidad del hormigón, son las previstas en el proyecto es indispensable para que el mismo sea exitoso.

La gran cantidad de variables intervinientes hacen difícil obtener una precisión suficiente que refleje el comportamiento en estado fresco frente a cambios en el contenido de agua. Es por ello que se hace uso de la calibración de modelos existentes para representar con suficiente precisión el comportamiento de materiales locales.

La consistencia de una mezcla es la movilidad relativa de la mezcla de hormigón. Se mide en términos de asentamiento (cuanto mayor sea el asentamiento, más fluida será la mezcla) y afecta la facilidad con la que el hormigón fluirá durante su colocación. Para determinar la consistencia de una mezcla de hormigón se utiliza el método brindado por la Norma IRAM 1536 – Método de Ensayo de Consistencia Utilizando el Tronco de Cono.

## Objetivos

Se buscará obtener curvas de razón agua/cemento vs asentamiento trabajando con agregados redondeados disponibles en la zona. Para ello, se trabajará con los datos que brinda el método de dosificación del Código ACI PRC 211-1 2022 para agregados angulosos.

## Muestreo de agregado para hormigones

Para realizar este trabajo se tomaron muestras de agregado grueso y fino contenidos en bolsones ubicados en el Laboratorio de Investigaciones y Ensayos Viales (LABIEVI).

Se realizó la toma de muestra de los dos según lo indicado por la Norma IRAM 1509, mediante el método por cuarteo. En las siguientes imágenes se puede observar los materiales:



Figura 1 – Bolsones de agregados para ensayo



Figura 2 – Cuarteo agregado 119-23



Figura 3 – Cuarteo agregado 118-23

Se tomaron 2 muestras representativas de cada uno.

Se obtuvieron 300gr de agregado fino (118-23) y 5kg de agregado grueso (119-23), como se puede observar en las siguientes imágenes:



Figura 4 – Muestra 118-23



Figura 5 – Muestra 119-23

### Ensayos previos

Se realizaron los siguientes ensayos siguiendo las indicaciones de las Normas IRAM, con el fin de poder dosificar hormigón mediante el método que brinda el Código ACI PRC 211-1 2022.

### **Análisis granulométrico**

Se analizó la composición granulométrica y el módulo de finura de cada material según lo indicado por la Norma IRAM 1505.

Obtenidas las muestras con los pesos aproximados según los Art. 5.4.2 para agregado fino y 5.5 para agregado grueso, se secaron en estufa durante 24hs, a la temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante y se efectuó el análisis granulométrico de cada una.

#### **Muestra 118-23 N°1**

Peso húmedo:

$$P_h = 332,0\text{gr}$$

Peso seco:

$$P_s = 313,3\text{gr}$$

Se determinó la humedad de la muestra:

$$\text{Humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_s} = \frac{332\text{gr} - 313,3\text{gr}}{313,3\text{gr}} \times 100 = 5,9\%$$

Tamiz		Peso retenido (gr)	Pasante (gr)	Retenido acumulado	% retenido acumulado	% que pasa
4,75 mm	#4	20,3	279,7	20,3	7	93
2,36 mm	#8	83,8	195,9	104,1	35	65
1,18 mm	#16	70	125,9	174,1	59	41
600 μm	#30	33,2	92,7	207,3	70	30
300 μm	#50	27,8	64,9	235,1	79	21
150 μm	#100	51,2	13,7	286,3	97	3,4
74 μm	#200	10	3,7	296,3	100	0,0

Tabla 1 – Granulometría 118-23 N°1

Se determinó el módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{Serie Abrams}}{100} = \frac{7 + 35 + 59 + 70 + 79 + 97}{100} = 3,5$$

### Muestra 118-23 N°2

Peso húmedo:

$$P_h = 353,2gr$$

Peso seco:

$$P_s = 341,9gr$$

Se determinó la humedad de la muestra:

$$\text{Humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_s} = \frac{353,2gr - 341,9gr}{341,9gr} \times 100 = 3,30\%$$

Tamiz		Peso retenido (gr)	Pasante (gr)	Retenido acumulado	% retenido acumulado	% que pasa
4,75 mm	#4	12,8	287,2	12,8	4	96
2,36 mm	#8	89,6	197,6	102,4	34	66
1,18 mm	#16	69,1	128,5	171,5	57	43
600 μm	#30	32,7	95,8	204,2	68	32
300 μm	#50	32,1	63,7	236,3	79	21
150 μm	#100	52,9	10,8	289,2	96	3,6
74 μm	#200	7	3,8	296,2	99	1,3

Tabla 2 – Granulometría 118-23 N°2

Se determinó el módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{Serie Abrams}}{100} = \frac{4 + 34 + 57 + 68 + 79 + 96}{100} = 3,4$$



Figura 6 – Granulometría muestra 118-23

**Muestra 119-23 N°1**

Muestra	119/23 N°1
Peso húmedo	5290,0 gr
Peso seco	5240,0 gr

Tabla 3 – Pesos para determinar humedad

Se determinó la humedad de la muestra:

$$\text{Humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_s} = \frac{5290\text{gr} - 5240\text{gr}}{5290\text{gr}} \times 100 = 0,94\%$$

Tamiz		Peso retenido (gr)	Pasante (gr)	Retenido acumulado	% retenido acumulado	% que pasa
37,50 mm	1 1/2"	0	5290	0	0	100
26,5 mm	1"	0	5240	0	0	100
19,0 mm	3/4"	515	4725	515	10	90
13,2 mm	1/2"	2210	2515	2725	52	48
9,5 mm	3/8"	1050	1465	3775	72	28
4,75 mm	#4	1380	85	5155	99	1,0
2,36 mm	#8	22,7	62,3	5177,7	99	0,6

Tabla 4 – Granulometría muestra 119-23 - 1

Se definió el tamaño máximo y tamaño máximo nominal:

Tamaño máximo: 26,5mm = 1"

Tamaño máximo nominal: 26,5mm = 1"

**Muestra 119-23 N°2**

<b>Muestra</b>	<b>119/23 N°2</b>
Peso húmedo	5065,0 gr
Peso seco	5000,0 gr

Tabla 5 – Pesos para determinar humedad

Se determinó la humedad de la muestra:

$$Humedad = \frac{P_h - P_s}{P_s} = \frac{5065gr - 5000gr}{5000gr} \times 100 = 1,28\%$$

Tamiz		Peso retenido (gr)	Pasante (gr)	Retenido acumulado	% retenido acumulado	% que pasa
37,50 mm	1 1/2"	0	5065	0	0	100
26,5 mm	1"	0	5000	0	0	100
19,0 mm	3/4"	450	4550	450	9	91
13,2 mm	1/2"	1555	2995	2005	40	60
9,5 mm	3/8"	1170	1825	3175	64	36
4,75 mm	#4	1685	140	4860	98	2,4
2,36 mm	#8	80	60	4940	99	0,8

Tabla 6 – Granulometría muestra 119-23 - 2

Se definió el tamaño máximo y tamaño máximo nominal:

Tamaño máximo: 26,5mm = 1"

Tamaño máximo nominal: 26,5mm = 1"



Figura 7 – Granulometría muestra 119-23

*Comparación con curvas límites del Reglamento CIRSOC 201-05*

Se realizó un promedio de los resultados anteriores y se establecieron los límites permitidos para que el agregado sea apto para usar en una dosificación de hormigón. A partir de la Tabla 3.3 para agregado fino y 3.5 para agregado grueso dadas por el Reglamento CIRSOC 201-05, se graficaron los resultados (el promedio de ambas granulometrías) que se observan en los siguientes gráficos:

**Muestra 118-23**

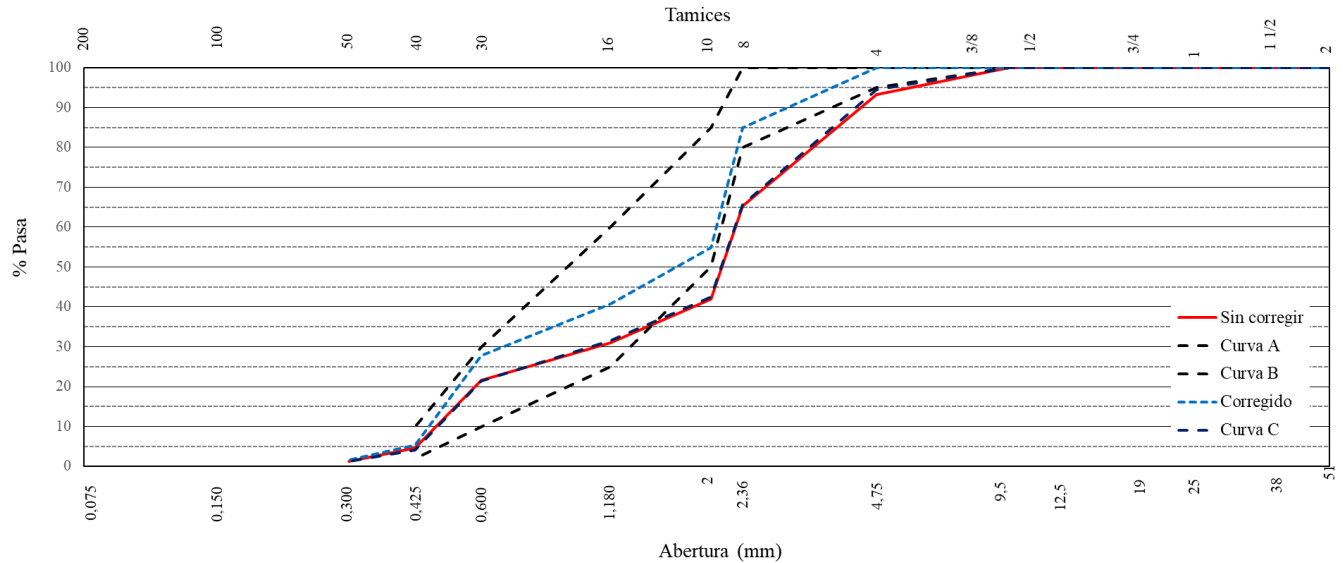


Gráfico 1 – Curva granulométrica agregado fino

Se puede observar que la curva sin corregir (rojo) está fuera de los límites permitidos por el Reglamento, por lo que se realizó un corte en la granulometría del material 118-23 para que cumpla con dichos límites. Para ello, se quitó el 100% del retenido del tamiz 4 y el 51,7% del retenido del tamiz 8, obteniendo así la curva corregida (azul).

Muestra 119-23

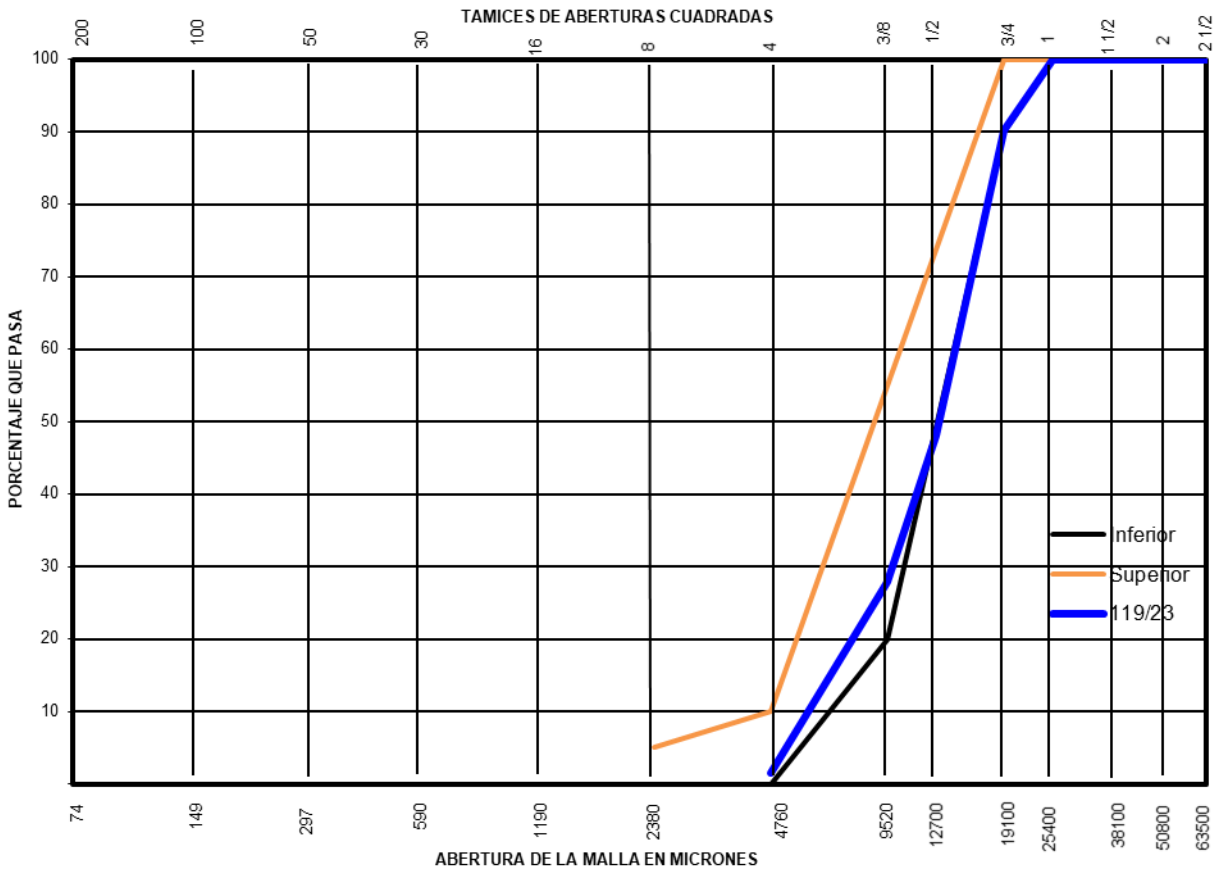


Gráfico 2 – Granulometría agregado grueso

Se puede observar que la curva granulométrica (azul) está dentro de los límites permitidos por el Reglamento.

**Tamizado vía húmeda que pasa por el tamiz 75µm**

Se realizó en ensayo del material fino que pasa por el tamiz 75µm, por lavado según lo especificado por la Norma IRAM 1540.

Se secó una muestra de ensayo de 300gr del material fino hasta masa constante a una temperatura de 105 °C ± 5 °C. Luego se colocó en un recipiente y se agregó agua hasta cubrirla completamente, como se puede ver en las siguiente figura:

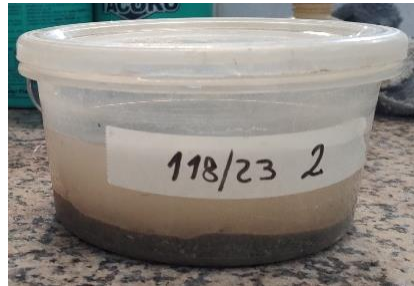


Figura 8 – Muestra de agregado fino para tamizado por vía húmeda

Luego se vertió el agua de lavado que contiene los sólidos disueltos y en suspensión sobre el tamiz 75µm y se lavó la muestra hasta que el agua esté limpia.



Figura 9 – Lavado de material según ensayo

Luego se secó la muestra hasta masa constante y se tomó el peso final, como se puede ver en la siguiente figura:



Figura 10 – Secado de material según ensayo

Se calculó la cantidad de material fino que pasa el tamiz IRAM 75 µm, por lavado, mediante la siguiente expresión:

$$m_f = \frac{m_s - m_i}{m_s} \cdot 100$$

Donde:

$m_f$  es la cantidad de material fino que pasa por el tamiz #200 por lavado

$m_s$  es la masa seca original de la muestra

$m_i$  es la masa seca después del lavado

$$m_s = 300gr$$

$$m_i = 296,25gr$$

$$m_f = \frac{300gr - 296,25gr}{300gr} \times 100 = 1,3\%$$

El porcentaje de finos que pasan el tamiz #200 de la muestra 118-23 es del 1,3%.

### Peso específico y absorción

Se determinó la densidad y la absorción del agregado fino según lo indicado por la Norma IRAM 1520 y para el agregado grueso según lo indicado por la Norma IRAM 1533.

#### Muestra 118-23

Para determinar la densidad y absorción del agregado fino primero se obtuvo 1kg de muestra mediante cuarteo:



Figura 11 – Muestra 118-23

Luego se colocó la muestra en un recipiente con agua y se la estacionó durante 24hs.



Figura 12 – Muestra en recipiente con agua

Transcurrido este tiempo, se dejó secar con aire caliente con el fin de llevar la muestra a saturado superficie seca (Figura 13), para ello, se colocó el agregado en el molde cónico llenándolo hasta enrasar, sin apretarlo y apisonando suavemente con 25 golpes. Si cuando se desmolda se mantiene la forma del molde, todavía tiene humedad superficial.



Figura 13 – Muestra secándose según lo especificado

Obtenido el resultado esperado, se procedió a usar el Método Volumétrico con el frasco de Le Chatelier.

Se llenó el volumenómetro con agua entre 0 y 1cm<sup>3</sup>, luego se colocó 55gr de muestra saturada a superficie seca. Se quitó el aire atrapado con una bomba y se registró el volumen final alcanzado.



Figura 14 – De izq a der.: volumenómetro con agua + arena. Extracción de aire Atrapado. Aire expulsado de la muestra.

La densidad relativa real:

$$d_1 = \frac{m'_s \left( \frac{m}{m_s} \right)}{(V_f - V_i)d_a - (m_s - m) \left( \frac{m'_s}{m_s} \right)}$$

La densidad relativa aparente del agregado seco:

$$d_2 = \frac{m'_s \left( \frac{m}{m_s} \right)}{(V_f - V_i)d_a}$$

La densidad relativa aparente del agregado saturado y de superficie seca:

$$d_3 = \frac{m'_s}{(V_f - V_i)d_a}$$

La absorción se determinó mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100$$

Donde:

$m_s$  es la masa en aire de la muestra saturada y de superficie seca según IRAM 1520

$m$  es la masa en aire, secada en estufa según IRAM 1520

$m'_s$  es la masa en aire de la muestra saturada y de superficie seca según IRAM 1520

$V_i$  es la lectura inicial del nivel de agua del frasco de Le Chatelier

$V_f$  es la lectura final del nivel de agua del frasco de Le Chatelier

$d_a$  es la densidad del agua a 20°C

Los resultados obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla:

IRAM 1520	
Densidad de agregado fino	
<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>
<b>Muestra N°</b>	<b>118-23</b>
$V_i$	0,5 cm <sup>3</sup>
$V_f$	21,8 cm <sup>3</sup>
$m'_s$	55,0 gr
$m$	54,0 gr
$d_a$	1,00 gr/cm <sup>3</sup>
$d_1$	2,66 gr/cm <sup>3</sup>
$d_2$	2,54 gr/cm <sup>3</sup>
$d_3$	2,58 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	<b>1,85%</b>

Tabla 7 – Resultado obtenidos de ensayo

### Muestra 119-23

Para determinar la densidad y absorción del agregado grueso primero se obtuvo aproximadamente 4kg de muestra mediante cuarteo:

Primero, se lavó el agregado grueso para eliminar el polvo u otro material de la superficie. Luego se colocó la muestra en un recipiente y se la estacionó durante 24hs, como se puede observar en las siguientes figuras:



Figura 15 – Izq.: lavado de material. Der. Muestra en recipiente con agua

Se secó el material hasta llegar a la condición de saturado y superficie seca con una tela absorbente, se registró el peso y se llevó a secar hasta masa constante a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , registrando el peso seco, como se observa en la figura 16:



Figura 16 – Muestra saturada a superficie seca

La densidad relativa real:

$$d_1 = \frac{m}{m - m_a}$$

La densidad relativa aparente del agregado seco:

$$d_2 = \frac{m}{m_s - m_a}$$

La densidad relativa aparente del agregado saturado y de superficie seca:

$$d_3 = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

La absorción se determinó mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100$$

Donde:

$m_s$  es la masa en aire de la muestra saturada y de superficie seca según IRAM 1533

$m$  es la masa en aire, secada en estufa según IRAM 1533

$m_a$  es la masa en agua de la muestra según IRAM 1533

Los resultados obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla:

IRAM 1533	
Densidad de agregado grueso	
Ensayo N°	1
Muestra N°	119-23
Peso húmedo	4160,0 gr
$m_s$	4071,6 gr
$m_a$	2529,8 gr
$m$	4030,8 gr
$d_1$	2,69 gr/cm <sup>3</sup>
$d_2$	2,61 gr/cm <sup>3</sup>
$d_3$	2,64 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	<b>1,01%</b>

Tabla 8 – Resultados obtenidos de ensayo

### PUV (densidad a granel y espacios vacíos)

Se determinó la densidad a granel y espacios vacíos según lo indicado por la Norma IRAM 1548.

Se calibró el recipiente vacío a utilizar, primero se pesó el recipiente vacío ( $m_r$ ), luego se lo llenó con agua y se registró el peso del agua más recipiente ( $m_{ra}$ ). Por último se determinó el peso del agua contenida como la diferencia entre ambos ( $m_a$ ).

$$m_a = m_{ra} - m_r$$

Se registró la temperatura del agua para obtener la densidad según la tabla 2 de la Norma y se obtuvo el volumen del recipiente. El resultado se puede ver en la siguiente tabla:

IRAM 1548	
Ensayo N°	Calibr. recip.
Muestra N°	119-23
$m_r$	0,45 kg
$m_{ra}$	11,42 kg
$m_a$	10,97 kg
T° termómetro 1	15,4 °C
T° termómetro 2	16,0 °C
T° promedio	15,7 °C
$\rho_w$	998,99 kg/m <sup>3</sup>
Vol recipiente	0,011 m <sup>3</sup>

Tabla 9 – Resultados obtenidos de ensayo

Se empleó el Método A brindado por la Norma para determinar la densidad a granel por tener el agregado tamaño máximo nominal menor a 37,5mm. Se llenó el recipiente con agregado en 3 capas y cada una se compactó con 25 golpes cada una. Se niveló la última capa y se registró el peso de la masa del recipiente más el agregado (Figura 17). El procedimiento se realizó 3 veces para obtener un valor promedio.



Figura 17 – Izq. Método de compactación. Der. Lectura de peso

Se determinó la densidad a granel mediante la siguiente expresión:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Los resultados se pueden ver en la siguiente tabla:

IRAM 1548	
Muestra N°	119-23
Ensayo N°	1
$m_{ar}$	19,40 kg
$\rho_{ap1}$	1725,24 kg/m <sup>3</sup>
Ensayo N°	2
$m_{ar}$	19,33 kg
$\rho_{ap2}$	1719,32 kg/m <sup>3</sup>
Ensayo N°	3
$m_{ar}$	19,50 kg
$\rho_{ap3}$	1734,80 kg/m <sup>3</sup>
PUV promedio	<b>1726,45 kg/m<sup>3</sup></b>

Tabla 10 – Resultados obtenidos

La densidad promedio del agregado 119-23 es de 1726,45kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad del cemento

Se determinó la densidad del cemento según lo indicado por la Norma IRAM 1624.

Se verificó que la muestra de cemento y querosene estén almacenadas en el mismo lugar por al menos 24hs para estar a la misma temperatura. En un volumenómetro de Le Chatelier se colocó querosene con un filtro para evitar impurezas entre las marcas 0 y 1cm<sup>3</sup>. Se dejó estacionar en un ambiente a temperatura constante y se registró el volumen inicial ( $V_1$ ). Luego, se colocó 64gr de cemento (m) dentro del volumenómetro evitando que el mismo no se adhiriera a las paredes. Una vez introducido el material, se colocó un tapón y se lo hizo girar en posición inclinada en círculos hasta que no suban burbujas de aire. Por último, luego de 150±30min se tomó la segunda lectura ( $V_2$ ).



Figura 18 – Izq. Querosene en volumenómetro de Le Chatelier. Der. Querosene y cemento en volumenómetro de Le Chatelier

La densidad del cemento se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

Este procedimiento se realizó en dos muestras y se obtuvo el valor promedio, los resultados se pueden ver en la siguiente tabla:

IRAM 1624		
Densidad del cemento		
Ensayo N°	1	2
m	64	64
V <sub>2</sub>	22,9 cm <sup>3</sup>	22,1 cm <sup>3</sup>
V <sub>1</sub>	0,8 cm <sup>3</sup>	0,6 cm <sup>3</sup>
V	22,1	21,5
ρ	2,90 gr/cm <sup>3</sup>	2,98 gr/cm <sup>3</sup>
Promedio	<b>2,94 gr/cm<sup>3</sup></b>	

Tabla 11 – Densidad de cemento obtenida

La densidad del cemento obtenida es de 2,94gr/cm<sup>3</sup>.

### Dosificación según Método ACI PRC 211-1 2022

Se dosificaron pastones de hormigón a partir del método brindado por el ACI y así obtener por un lado una gráfica de agua - asentamiento y por otro razón a/c - resistencia ajustada con los áridos de la zona.

Para ello, una vez obtenidos los datos necesarios para trabajar, primero se procedió a dosificar los pastones con una razón a/c de 0,55 y se varió el contenido de agua.

Primero, se trabajó con los 4 puntos dados por la Tabla 5.3.3 del ACI PRC 211-1 2022 para hormigón sin aire intencionalmente incorporado y se observó qué diferencias o similitudes presenta con el hormigón dosificado con árido redondeado.

Luego, se analizaron puntos intermedios de contenido de agua adicionales a los brindados por el método para tener una curva más precisa. En total, se realizaron 14 pastones para analizar el asentamiento.

A continuación, se mostrarán los pasos a seguir de las dosificaciones elaboradas.

#### *Estimación de las proporciones de la mezcla*

A partir del tamaño máximo nominal del agregado grueso (26,5mm) se estimó el agua de mezclado requerida para llegar a los asentamientos dados por la siguiente Tabla 5.3.3:

<b>Tabla 5.3.3-Contenido aproximado de agua y aire para diferentes asentamientos de hormigón sin aditivos reductores de agua de mezclado y tamaños máximos nominales de los agregados</b>							
<b>Contenido de Agua en kg/m<sup>3</sup> de hormigón</b>							
<b>Asentamiento (cm)/Tam. Max Nom. (mm) *</b>	<b>9,5</b>	<b>13,2</b>	<b>19,0</b>	<b>26,5</b>	<b>37,5</b>	<b>53**</b>	<b>75**</b>
Hormigón sin aire intencionalmente incorporado							
De 2,5 a 5,0	208	199	187	178	163	154	131
De 7,5 a 10,0	228	217	202	193	178	169	145
De 12,5 a 15,0	237	222	208	196	181	172	151
De 15,0 a 17,5	243	228	214	202	187	178	160
Contenido aproximado de aire atrapado (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3
Hormigón con aire intencionalmente incorporado							
De 2,5 a 5,0	181	175	166	160	148	142	122
De 7,5 a 10,0	202	193	181	175	163	157	133
De 12,5 a 15,0	211	199	187	178	166	160	142
De 15,0 a 17,5	217	205	193	184	172	166	154
Contenido de aire incorporado recomendado por exposición (%)							
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5
* Los asentamientos son valores máximos para agregados angulares clasificados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.							
** Los valores de asentamiento se basan en la prueba de asentamiento realizada después de la eliminación de partículas más grandes que 38mm mediante tamizado húmedo.							
Nota: Estas cantidades de agua de mezclado son válidas para calcular los contenidos de cemento para pastones de prueba.							

Tabla 12 – Contenido aproximado de agua y aire para diferentes asentamientos de hormigón sin aditivos reductores de agua y tamaños máximos nominales de los agregados

Luego de definir aproximadamente el contenido de agua y aire, se ajustaron los valores de acuerdo a las condiciones establecidas en la Tabla 5.3.3.1, para este caso, por tener agregado redondeado:

<b>Tabla 5.3.3.1-Ajuste estimado del contenido de agua para varias condiciones</b>	
<b>Cambio de condición</b>	<b>Ajuste del contenido de agua (%)</b>
Agregado redondeado	-8
Cada 1% de aumento del contenido de aire	-3
Cada 1% de disminución del contenido de aire	+3
Uso de aditivo reductor de agua de mezclado	-5
Uso de aditivo reductor de agua de mezclado de alto rango	-12
Cada 2,5cm de aumento del asentamiento	+3
Cada 2,5cm de disminución del asentamiento	-3
Cada 12°C de aumento de la temperatura del hormigón	+2
Cada 12°C de disminución de la temperatura del hormigón	-2
Cada 10% de aumento en el contenido de cenizas volantes como reemplazo del cemento, en peso	-3
Cada 10% de disminución en el contenido de cenizas volantes como reemplazo del cemento, en peso	+3
Cada 10% de aumento en el contenido de cemento de escoria como reemplazo de cemento, en peso	-5
Cada 10% de disminución en el contenido de cemento de escoria como reemplazo de cemento, en peso	+5
Uso de arena elaborada	+5
Estos ajustes asumen que se utilizaron condiciones estándar de laboratorio de control de temperatura en hormigones con asentamiento de 7,5cm a 10cm que contengan agregados dentro de los límites de las especificaciones y arena natural con un módulo de finura de 2,75.	

Tabla 13 – Ajuste estimado del contenido de agua para varias condiciones

Luego, se fijó una razón agua/cemento de 0,55, con el objetivo de poder ir cambiando la cantidad de agua de la mezcla.

### Contenido de cemento

La cantidad de cemento por unidad de volumen del hormigón se determinó a partir de los datos ya elegidos, a continuación, se mostrarán los pasos a seguir para 193kg de agua:

$$a/c = 0,55$$

$$a = 175kg$$

Se corrigió el agua de mezclado:

$$a = 193kg \times 0,92 = 178kg$$

El contenido de agua en volumen:

$$V_a = \frac{178kg}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,178m^3$$

El contenido de cemento:

$$c = \frac{178kg}{0,55} = 322,8kg$$

El contenido de cemento en volumen:

$$V_c = \frac{322,8kg}{2,94 \frac{gr}{cm^3} \times 100} = 0,11m^3$$

### Contenido de agregado grueso

El contenido de agregado grueso se determinó a partir de multiplicar el volumen de agregado grueso suelto por el PUV por un lado para llevarlo a peso seco y multiplicando por 1 más la absorción para llevarlo a saturado superficie seca, con los datos obtenidos anteriormente:

$$W_g = V_{ol\ AG\ suelto} PUV(1 + Abs)$$

Tabla 5.3.6-Volumen suelto del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón				
Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Volumen varillado secado al horno del agregado grueso por unidad de volumen del hormigón en función del módulo de finura del agregado fino			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
13,2	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
26,5	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
53,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76

Los volúmenes son basados en agregado grueso en condición varillado y secado en horno descrito en la norma IRAM 1548 ASTM C29/29M. Estos volúmenes fueron seleccionados por experiencias empíricas para elaborar hormigón con un grado de trabajabilidad adecuada usuales para construcciones armadas. Para hormigón con menor trabajabilidad, como hormigón para pavimento, estos valores deben ser incrementados un 10% aproximadamente.

Tabla 14 – Volumen suelto del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón

El volumen suelto del agregado grueso se determinó a partir del tamaño máximo nominal de AG y el módulo de finura del AF. Como el módulo de finura del agregado fino corregido es de 2,86, lo que se hizo fue realizar una interpolación para obtener dicho volumen, los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

Tamaño máx. nominal	Modulo de finura				AF s/ corr.	AF corregido
	2,4	2,6	2,8	3		
26,5 (1")	0,71	0,69	0,67	0,65	0,610	0,664

Tabla 15 – Módulo de finura del agregado fino

$$W_g = V_{ol\ AG\ suelto} PUV(1 + Abs)$$

$$W_g = 0,664m^3 \times 1726,5 \frac{kg}{m^3} \times (1 + 1,01\%) = 1157,97kg$$

El contenido de agregado grueso en volumen:

$$V_{AG} = \frac{1157,97kg}{2641 \frac{kg}{m^3}} = 0,44m^3$$

### Contenido de agregado fino

Con los demás volúmenes calculados, se determinó la cantidad de agregado fino que se necesita para 1m<sup>3</sup> de pastón:

$$V_{AF} = 1 - V_{AG} - V_A - V_C - Ca\%$$

$$V_{AF} = 1 - 0,44m^3 - 0,178m^3 - 0,11m^3 - \frac{1,5\%}{100} = 0,26m^3$$

El contenido de agregado fino en peso:

$$W_{AF} = 2,58 \frac{gr}{cm^3} \times 1000 \times 0,26m^3 = 668,8kg$$

Los resultados obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla:

Dosificación		
W <sub>c</sub>	322,84 kg	Cantidad de cemento
V <sub>c</sub>	0,11 m <sup>3</sup>	Volumen de cemento
W <sub>G</sub>	1157,97 kg	Cantidad Agregado grueso
V <sub>AG</sub>	0,44 m <sup>3</sup>	Volumen Agregado grueso
W <sub>w</sub>	177,56 kg	Cantidad de agua
V <sub>w</sub>	0,178 m <sup>3</sup>	Volumen de agua
V <sub>AF</sub>	0,26 m <sup>3</sup>	Volumen de arena
W <sub>AF</sub>	668,79 kg	Cantidad de arena

Tabla 16 – Resultados de dosificación

Para 1m<sup>3</sup> de hormigón cuya razón a/c=0,55 y contenido de agua 178kg se necesitan:

1 m <sup>3</sup>	Peso	Volumen
Agua	177,56 kg	0,178 m <sup>3</sup>
Cemento	322,84 kg	0,110 m <sup>3</sup>
AG	1157,97 kg	0,438 m <sup>3</sup>
AF	668,79 kg	0,259 m <sup>3</sup>
Total	2327,16 kg	0,985 m <sup>3</sup>

Tabla 17 – Datos de dosificación para 1m<sup>3</sup> de mezcla

### Ajuste de humedad

Para esta dosificación, se decidió preparar un pastón de 30 litros, y el día de elaboración, se determinó la humedad de los agregados para realizar la corrección por humedad, para ello, se extrajo 1kg de material grueso y 0,5kg de material fino y se los dejó secar en estufa a peso constante, los resultados obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla:

Humedad	
Peso nat (fino)	545,0 gr
Peso seco (fino)	540,0 gr
Peso nat (grueso )	1000,0 gr
Peso seco (grueso )	995,0 gr
Humedad grueso	0,50%
Humedad fino	0,93%

Tabla 18 – Ajuste de humedad in situ

Para determinar el peso del agregado para usar en el pastón, se utilizó la siguiente fórmula para cada agregado:

$$\text{Peso Agregado}_{\text{pastón}} = \frac{(1 + \% \text{ humedad})}{(1 + \% \text{ absorción})} \times \text{peso agregado}_{\text{diseño}}$$

Para el agregado grueso:

$$\text{Peso nat. AG} = \frac{(1 + 0,50\%)}{(1 + 1,01\%)} \times 34,74\text{kg} = 34,56\text{kg}$$

Para el agregado fino:

$$\text{Peso nat. AF} = \frac{(1 + 0,93\%)}{(1 + 1,85\%)} \times 20,06\text{kg} = 19,88\text{kg}$$

La diferencia entre el peso del agua del pastón y el peso del agua de mezclado a partir de las proporciones de la dosificación es el peso del agua libre. Se restó del peso del agua de diseño para obtener el peso del agua que se utilizó en el pastón:

$$\text{Peso Agua} = W_{A \text{ diseño}} + (\text{Peso AF diseño} - \text{Peso nat. AF}) + (\text{Peso AG diseño} - \text{Peso nat. AG})$$

$$\text{Peso Agua} = 5,33\text{kg} + (20,06\text{kg} - 19,88\text{kg}) + (34,74\text{kg} - 34,56\text{kg}) = 5,68\text{kg}$$

Para elaborar 30 litros de hormigón con las especificaciones dadas se necesita:

0,03 m <sup>3</sup>	Peso	Peso nat	Corrección hum.
Agua	5,33 kg	<b>5,68 kg</b>	5,68 kg
Cemento	9,69 kg	<b>9,69 kg</b>	9,69 kg
AG	34,74 kg	<b>34,56 kg</b>	34,56 kg
AF	20,06 kg	<b>19,88 kg</b>	19,88 kg
Total	69,81 kg	69,81 kg	69,81 kg

Tabla 19 – Dosificación final para 30 litros de mezcla

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, se tuvo que realizar una corrección en el agregado fino, entonces esos 19,88kg de material necesarios, se tuvo que preparar para tener la proporción correcta según la granulometría propuesta que cumplía con el Reglamento CIRSOC 201-05:

Corte de AF	
R#8	3,03 kg
P#8	17,04 kg

Tabla 19 – Datos de cantidad de material fino según tamiz #8

A continuación, se presenta una tabla resumen de cada pastón para elaborar 1m<sup>3</sup>:

Fecha de elaboración	Pastón N°	Para 1m <sup>3</sup>			
		Agua	Cemento	AG	AF
		kg	kg	kg	kg
2/11/2023	1	178	322,8	1063,8	760,9
15/11/2023	2	178	322,8	1158,0	668,8
21/11/2023	3	178	322,8	1158,0	668,8
24/11/2023	4	180	327,9	1158,0	657,3
27/11/2023	5	180	327,9	1158,0	657,3
28/11/2023	6	186	337,9	1158,0	634,2
30/11/2023	7	186	337,9	1158,0	634,2
4/12/2023	8	164	297,8	1158,0	726,5
5/12/2023	9	158	288,0	1158,0	748,8
6/12/2023	10	138	250,9	1158,0	834,2
15/12/2023	11	147	267,3	1158,0	796,6
19/3/2024	12	156	283,6	1158,0	758,9
19/3/2024	13	166	301,8	1158,0	717,1

Tabla 20 – Datos de la dosificación de los pastones realizados

*Nota: por cuestiones prácticas, se trabajó con 30 litros de hormigón por pastón, a continuación, se presentan los resultados obtenidos de asentamiento.*

### Determinación del asentamiento de una mezcla

Se determinó el asentamiento de las mezclas según lo especificado por la Norma IRAM 1536-1978 - Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono y se elaboró el pastón según lo especificado por la Norma IRAM 1534-2004 - Preparación y curado en Laboratorio de probetas.

Elementos utilizados:

- Hormigonera
- Carretilla
- Chuchara
- Baldes
- Pala

- Varilla de compactación
- Cono de Abrams
- Metro



Figura 19 – Hormigoneras utilizadas

El ensayo consiste en medir la consistencia del hormigón mediante el uso de un tronco de cono.

Se humedeció el molde con agua y se lo colocó sobre una superficie plana y alejado de posibles vibraciones, para el llenado del molde, el operador se colocó sobre los soportes del mismo para evitar que se mueva, y se lo llenó en 3 capas de igual volumen, compactando en cada capa 25 veces, penetrando la capa anterior y con golpes que inician cerca del perímetro de forma inclinada hasta el centro para la primer capa, luego de forma vertical las restantes. En la última capa, se colocó excedente para que quede bien enrasado el cono.

Luego, se enrasó con la misma varilla y se retiró el cono cuidadosamente en dirección vertical. Se registró el valor de asentamiento dando vuelta el cono y con la varilla apoyada sobre él con un metro, como puede verse en las siguientes imágenes:



Figura 19 – Hormigoneras utilizadas

A continuación, se muestran imágenes de algunos de los ensayos realizados:



Figura 20 – Ensayos de consistencia con cono de Abrams para diferentes contenidos de agua

### Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

As esperado	Fecha de pastón	Pastón N°	Agua s/ corr.	Agua real	Asentamientos
7,5 a 10cm	2/11/2023	1	193 kg	178 kg	16,5 cm
			193 kg	178 kg	10,0 cm
			193 kg	178 kg	11,0 cm
	15/11/2023	2	193 kg	178 kg	6,5 cm
			193 kg	178 kg	6,0 cm
	21/11/2023	3	193 kg	178 kg	11,0 cm
193 kg			178 kg	8,0 cm	
12,5 a 15cm	24/11/2023	4	196 kg	180 kg	15,0 cm
			196 kg	180 kg	13,0 cm
	27/11/2023	5	196 kg	180 kg	17,0 cm
			196 kg	180 kg	15,0 cm
15 a 17,5cm	28/11/2023	6	202 kg	186 kg	15,0 cm
			202 kg	186 kg	17,0 cm
	30/11/2023	7	202 kg	186 kg	16,0 cm
			202 kg	186 kg	15,0 cm
2,5 a 5cm	4/12/2023	8	178 kg	164 kg	9,0 cm
			178 kg	164 kg	8,0 cm
	5/12/2023	9	178 kg	158 kg	9,0 cm
			178 kg	158 kg	7,0 cm
	6/12/2023	10	150 kg	138 kg	4,5 cm
			150 kg	138 kg	3,0 cm
Se fijó un valor de agua y se obtuvo un valor	15/12/2023	11	160kg	147 kg	4,8 cm
	19/12/2023	12	170 kg	156 kg	5,0 cm
	19/12/2023	13	180 kg	166 kg	11,0 cm

Tabla 21 - Datos de asentamiento obtenidos para una razón a/c=0,55

A partir de estos datos, se realizó una gráfica para observar la tendencia que tuvieron los resultados:

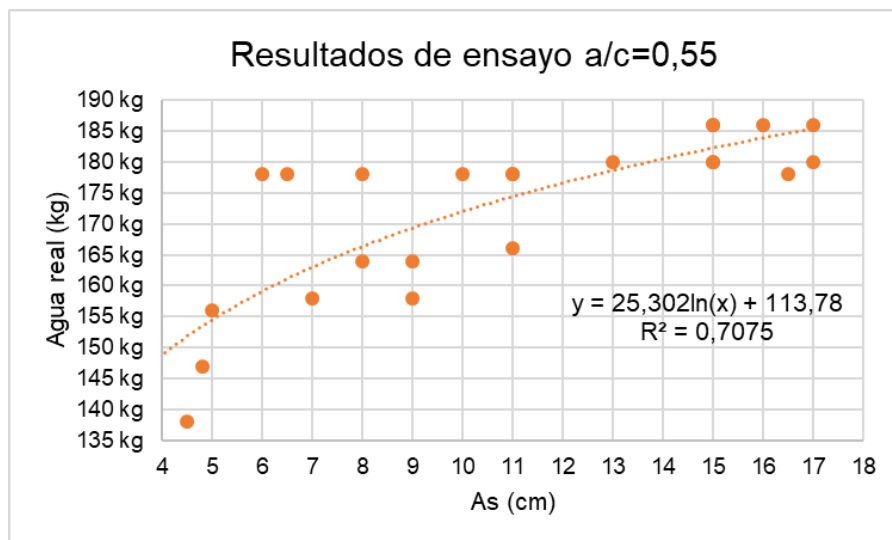


Gráfico 3 – Resultados de asentamiento para a/c=0,55

Los datos se observan muy dispersos respecto de la línea de tendencia que mejor se ajustó a los mismos, por lo que para seguir trabajando sobre la gráfica, fue necesario analizar los valores de resistencia obtenidos de las probetas que a continuación se describirán.

### Armado y curado de probetas para ensayo a compresión

Con los pastones que se prepararon (de razón  $a/c=0,55$ ), se moldearon y curaron probetas según lo especificado por la Norma IRAM 1534-2004 Preparación y curado en Laboratorio de probetas.

Por otro lado, también se realizaron pastones con otras razones  $a/c$  con el fin de poder obtener una curva de resistencia a compresión –  $a/c$ .

Se dosificaron hormigones con las siguientes razones  $a/c$ : 0,35, 0,40, 0,45, 0,50, 0,60 y 0,65.



Figura 21 – Confección de probetas



Figura 22 – Probetas moldeadas



Figura 23 – Probetas con protección para mantener humedad en el proceso de fraguado

Previamente al hormigonado, se aseguró que los moldes cilíndricos estén correctamente engrasados para su fácil desmolde y ajustados para evitar escape de mortero. Se realizó la compactación según lo indica la Norma IRAM 1534-2004. Se colocó el hormigón en 3 capas, con una varilla se efectuaron 25 golpes por cada una y con una masa de goma se golpeó el molde para cerrar huecos que hayan quedado de la compactación. Por último, se enrasó la superficie de modo que quede lo más lisa y recta posible (Figura 22).

Una vez compactadas las probetas, se dejó que fragüe el hormigón durante 24hs, para ello se protegieron con un naylon para evitar que se pierda humedad (Figura 23).

Pasadas las 24hs, se desmoldaron (Figura 24) y se sumergieron en agua saturada de cal a  $23\pm 2C^\circ$  (Figura 25).



Figura 24 – Probetas desmoldadas listas para curar. Figura 25 – Probetas inmersas en solución de agua saturada con cal

Los resultados de asentamiento obtenidos para cada pastón se puede observar en la siguiente tabla:

a/c	Asentamiento (cm)
0,35	0
0,40	5,0
0,45	13,5
0,50	14,0
0,60	20,0
0,65	>20

Tabla 22 – Resultados de asentamiento de cada pastón

Se realizaron ensayos de resistencia a 7 y 28 días (Figura 26). Para ello, primero se acondicionó la superficie de las probetas con una mezcla de azufre y grafito para asegurar la planicidad y perpendicularidad con el eje del cilindro de la máquina de ensayo (Figura 25). A través de ellas se transmiten los esfuerzos de compresión y cualquier irregularidad puede producir que las probetas fallen de forma irregular.



Figura 26 – Probetas encabezadas

En las siguientes figuras se puede observar el ensayo en una de las probetas y el tipo de rotura que se generó:



*Figura 27 – Izq. Ensayo de probeta a compresión.  
Der. Probeta que llegó a la máxima carga que soportó.*

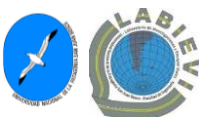
En la figura 27 se puede ver la uniformidad de la disposición de los agregados inmersos en la pasta de cemento:



*Figura 28 - Vista interior de probeta ensayada a compresión*

Los resultados del ensayo a compresión de las probetas se presentan en el Anexo I.

La resistencia a compresión está dada por la relación entre la carga que produjo la rotura y la sección transversal de aquella. El resultado de los ensayos es el promedio de las resistencias de las probetas moldeadas con cada muestra (mínimo dos) y ensayadas a la misma edad.



Además, según lo establecido por el Art. 4.1.6.2. del Reglamento CIRSOC 201-05, se debe cumplir que la diferencia entre las resistencias extremas del grupo que constituye cada ensayo, sea menor del 15% de la resistencia media de las probetas que constituyen el grupo.

Como se observó en las tablas de Anexo I, la mayoría los resultados se debieron descartar debido a que entre ensayos existe una diferencia mayor al  $\pm 15\%$ , por lo que estos no son representativos de la muestra.

### Conclusiones parciales

En el transcurso de la confección de los pastones y a partir de los datos obtenidos, se llegó a la conclusión que el motivo por el cual los resultados de resistencia se hayan tenido que descartar fue debido la forma en la que se determinó la muestra de humedad in situ para corregir el contenido de agua de la mezcla.

Cuando se tomó una muestra de humedad, tanto para agregado grueso como fino, la misma se obtenía del recipiente contenedor del agregado a utilizar, previamente pesado, sin haber realizado un mezclado previo que uniformice el material para que la humedad de la muestra sea representativa. Esto sin duda ha sido un factor determinante que ha llevado a cometer los errores que arrojan los resultados obtenidos.

A medida que se fue variando la razón agua/cemento para la confección de probetas para evaluar resistencia a compresión, los valores de asentamiento obtenidos no fueron los esperados.

A partir de esto, se decidió trabajar nuevamente con pastones de prueba para poder analizar correctamente la consistencia y la resistencia del hormigón, determinando de forma correcta el contenido de humedad de los agregados.

### Nuevo análisis de asentamientos

En este nuevo estudio de la consistencia de las mezclas de hormigón, lo que se realizó primero fueron pastones de prueba mezclados de forma manual con el fin de observar la consistencia de las mezclas con el contenido de agua que se definió a partir de la Tabla 12 (5.3.3).

En esta etapa del trabajo, se confeccionaron pastones de hormigón con un agregado grueso con un tamaño máximo mayor al del utilizado para los ensayos anteriormente descritos. El resto de los materiales se mantuvieron con sus mismas características.

A continuación, se presenta la curva granulométrica del agregado grueso utilizado:

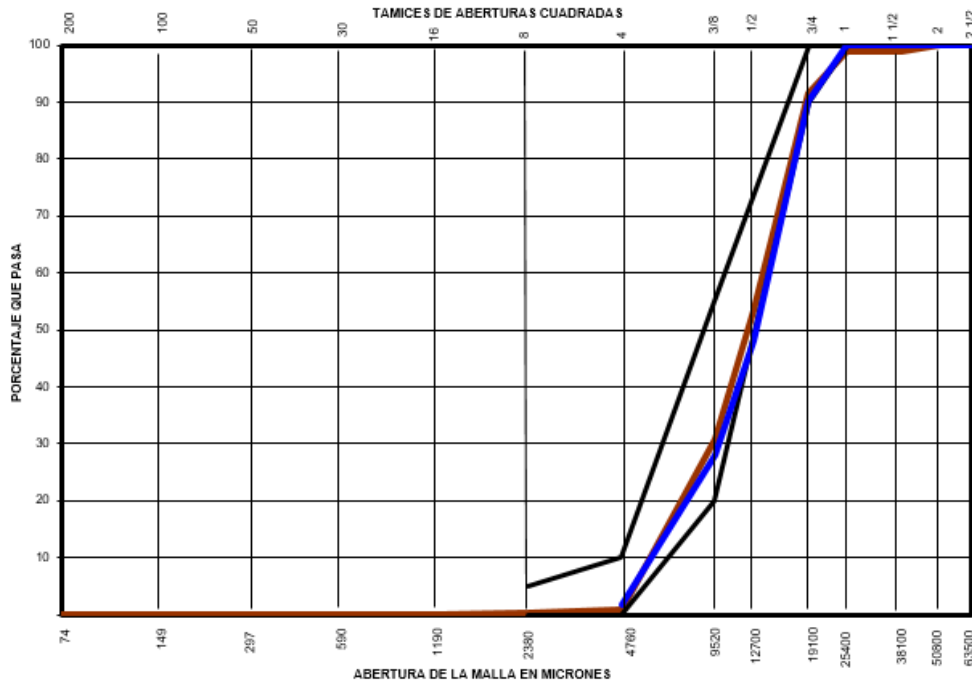


Gráfico 4 – Granulometría agregado grueso para nuevos pastones

El Tamaño Máximo Nominal es 3/4”.

Se trabajaron con pastones de prueba para razones a/c 0,40, 0,50 y 0,60 y se definió el contenido de agua para obtener un asentamiento esperado según lo indicado por la tabla 12. Esto permitió poder confeccionar 3 gráficos independientes y correlacionarlos con las tolerancias que brinda el Reglamento CIRCOC 201-05.

La Tabla 23 (Tabla 5.2) establece para cada rango de consistencia una tolerancia:

Tabla 5.2. Intervalos de consistencia y tolerancias

Consistencia	Remoldeo (V) (s)		Asentamiento (A) [cm]		Extendido (E) [cm]	
	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia
Muy seca	5,0 < V ≤ 30,0	± 2,0	--	--	--	--
Seca	--	--	2,0 < A ≤ 5,0	± 1,0	--	--
Plástica	--	--	5,0 < A ≤ 10,0	± 2,0	--	--
Muy plástica	--	--	10,0 < A ≤ 15,0	± 2,0	50 < E ≤ 55	± 1,0
Fluida	--	--	15,0 < A ≤ 18,0	± 3,0 (*)	55 < E ≤ 60	± 2,0
Muy fluida	--	--	--	--	60 < E ≤ 65	± 2,0

(\*) La tolerancia en (+) es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20,0 cm.

Tabla 23 – Intervalos de consistencia y tolerancias según CIRSOC 201-05

En las figuras 28 y 29 se pueden ver los materiales utilizados para confeccionar las mezclas:



Figura 29 – Elementos utilizados para elaborar los pastones



Figura 30 – Mezclado de materiales

Los resultados obtenidos de cada ensayo se puede observar en las siguientes tablas y gráficos:

<b>a/c</b>	<b>0,40</b>	
As real	Agua Real	Hormigonera
cm	kg	
2,5	163,76	Mezclado manual
5	172	200 litros
6,0	186	Manual
7,5	208,26	80 litros
9,5	208,26	80 litros
9,5	219	Mezclado manual

Tabla 24 – Resultados de ensayo

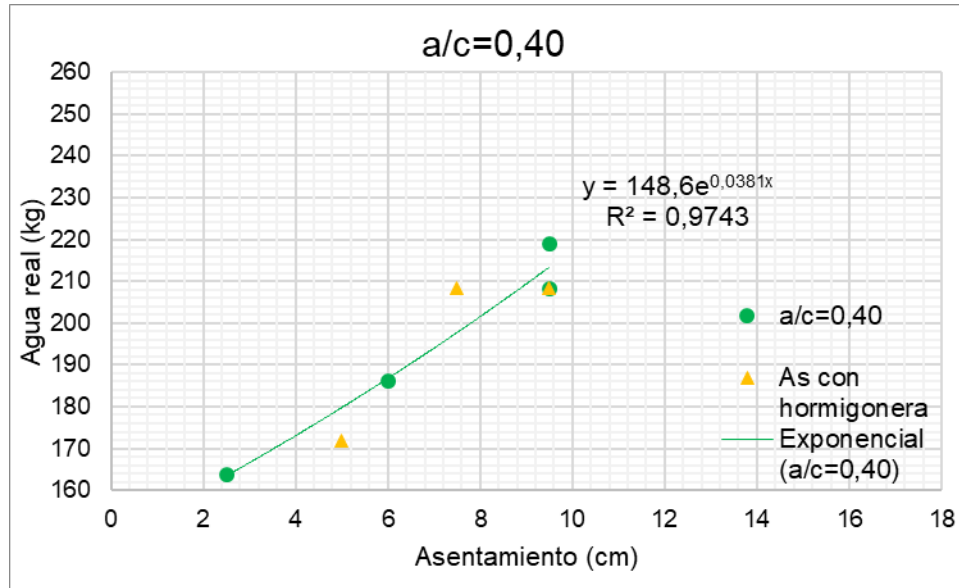


Gráfico 5 – Agua real vs asentamiento para a/c=0,40

a/c	0,50	
As real cm	Agua Real kg	Hormigonera
3,5	145,07	Mezclado manual
5,5	149,96	Mezclado manual
6,5	149,96	Mezclado manual
10,5	163,76	Mezclado manual
12,5	166,52	Mezclado manual
14,5	172,04	Mezclado manual
16,5	178	Mezclado manual

Tabla 25 – Resultados de ensayo

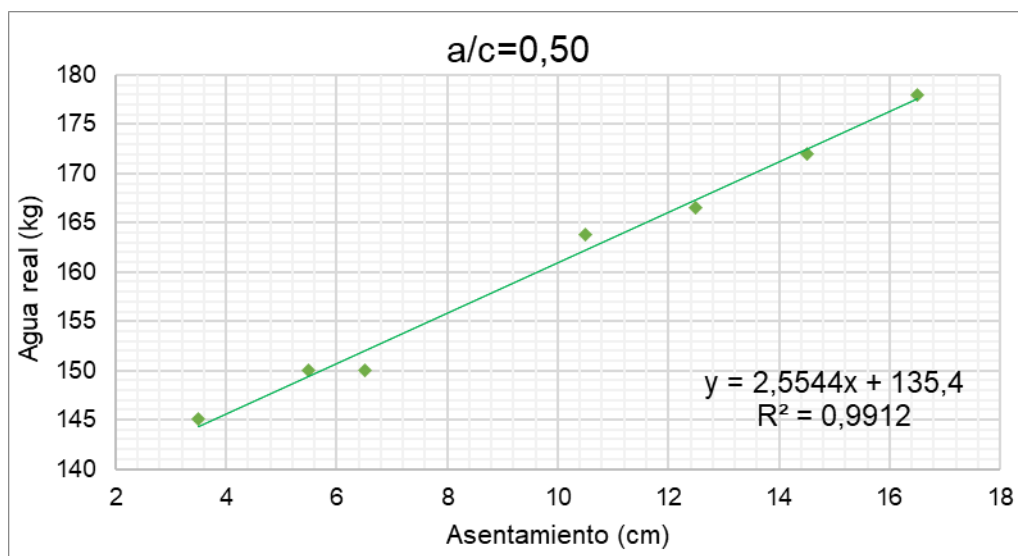


Gráfico 6 – Agua real vs asentamiento para a/c=0,50

<b>a/c</b>		<b>0,60</b>
As real	Agua Real	Hormigonera
cm	kg	
2	135,29	Mezclado manual
3	141,16	Mezclado manual
5,5	145,07	Mezclado manual
12,5	158,42	Mezclado manual
13,5	163,76	Mezclado manual
18	170	Mezclado manual

Tabla 26 – Resultados de ensayo

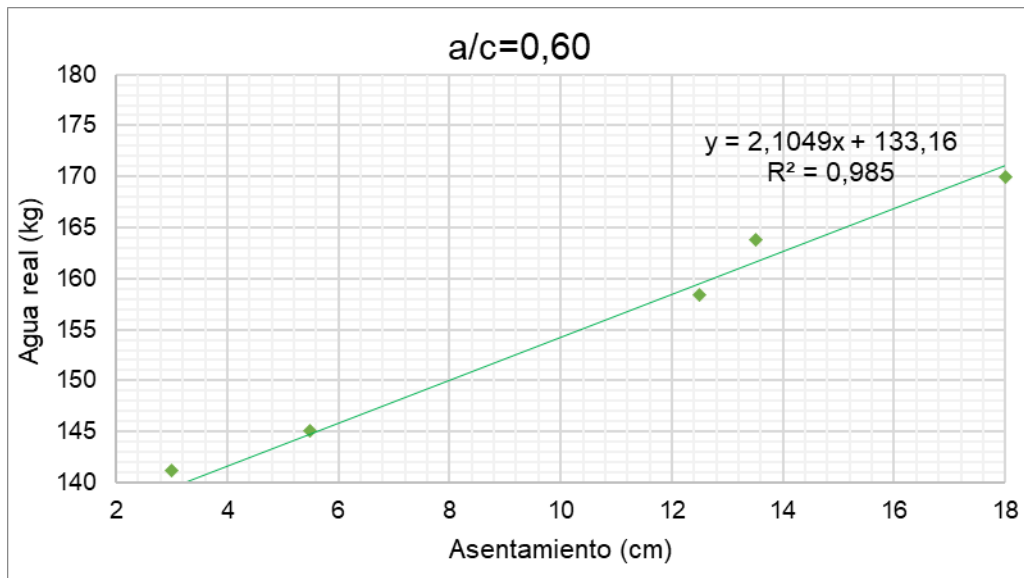


Gráfico 7 – Agua real vs asentamiento para a/c=0,60

A partir de las líneas de tendencia que se ajustaron a los datos, se realizó la correlación con los valores medios de las tolerancias de la tabla 23:

*a/c=0,40*

<b>CIRSOC 201-05 Tabla 5.2</b>	
As medio	Agua Real
cm	kg
3,5	168,18
7,5	199,37
12,5	238,36
16,5	269,56

Tabla 27 – Correlación de datos

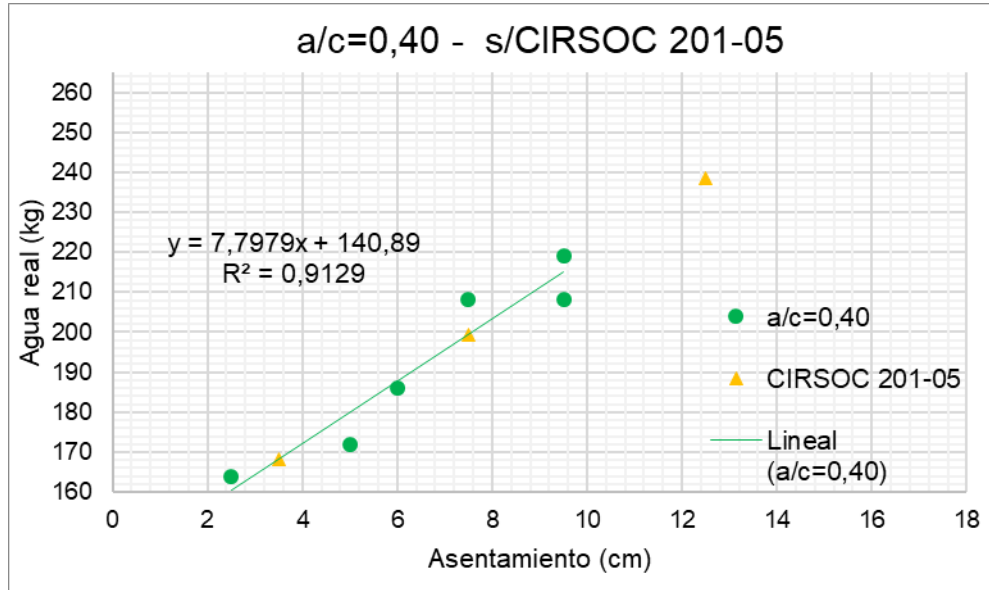


Gráfico 8 – a/c=0,40

a/c=0,50

CIRSOC 201-05 Tabla 5.2	
As medio	Agua Real
cm	kg
3,5	144,34
7,5	154,56
12,5	167,33
16,5	177,55

Tabla 28 – Correlación de datos

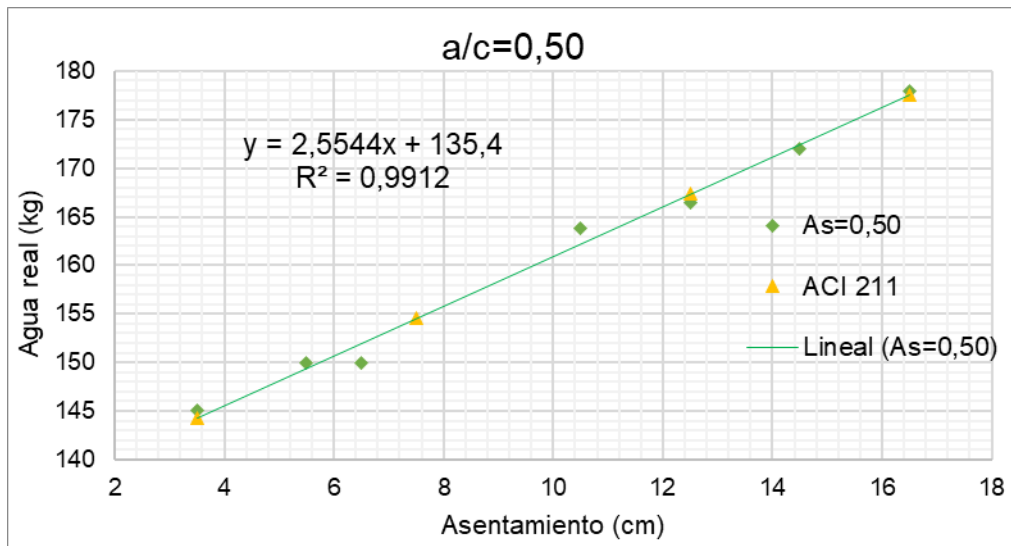


Gráfico 9 – a/c=0,50

$a/c=0,60$

CIRSOC 201-05 Tabla 5.2	
As medio	Agua Real
cm	kg
3,5	140,52
7,5	148,94
12,5	159,46
16,5	167,88

Tabla 29 – Correlación de datos

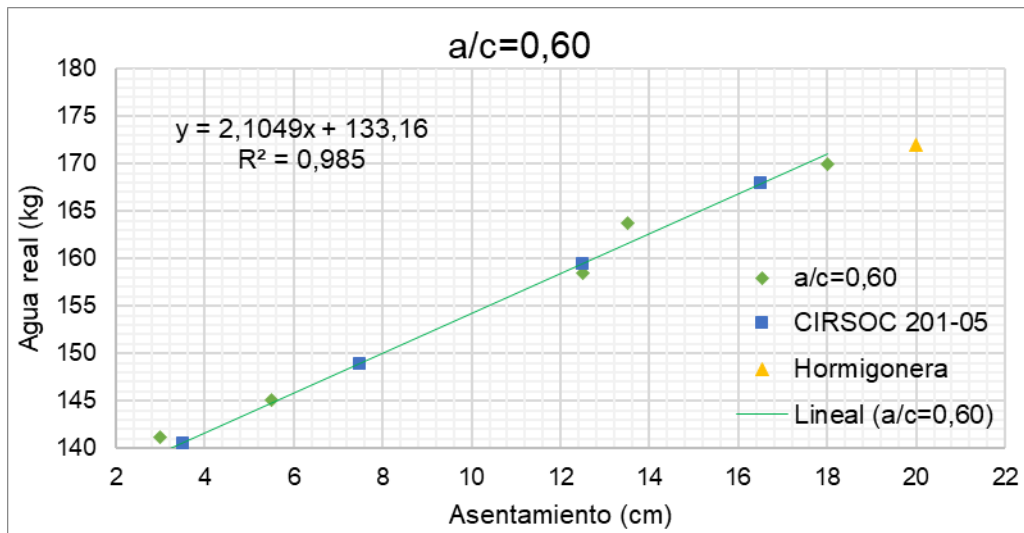


Gráfico 10 –  $a/c=0,60$

Luego, con los datos correlacionados de contenido de agua y límites de consistencia medios, se confeccionaron las siguientes tablas obteniendo los datos para razones  $a/c$  intermedias en función de los datos obtenidos.

Para ello, se graficó razón  $a/c$  – agua real y con la línea de tendencia de mejor ajuste, se obtuvieron los contenidos de agua restantes.

**Nota:** las curvas de tendencia que se utilizaron fueron obtenidas a partir de razón  $a/c$  0,45 a 0,65. Esto es así debido a que con  $a/c=0,40$  se requerirá de usos de aditivos fluidificantes para obtener el asentamiento deseado, ya que se requiere mucho material para poder llegar a un resultado esperado, y el comportamiento observado respecto de los demás es diferente.

A continuación se presentan los siguientes gráficos obtenidos:

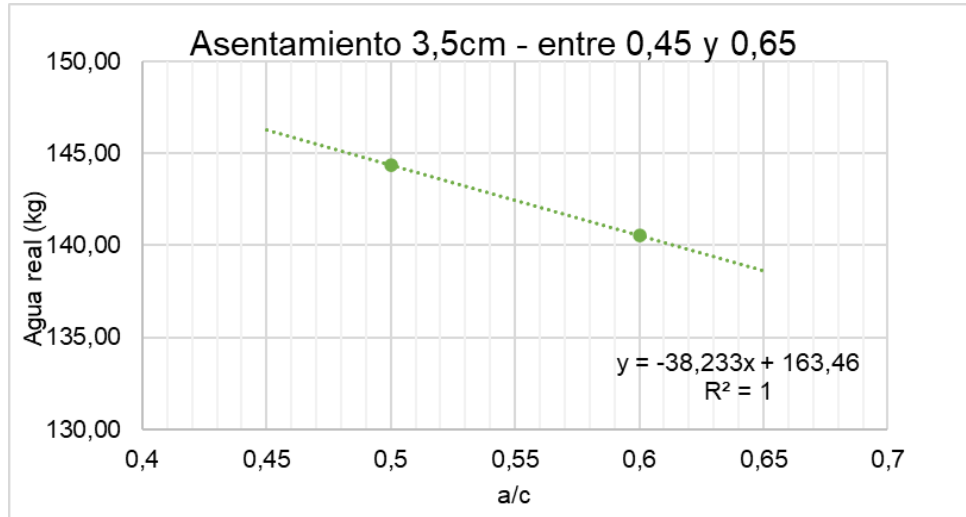


Gráfico 11 – Curva a/c-agua As=3,5cm

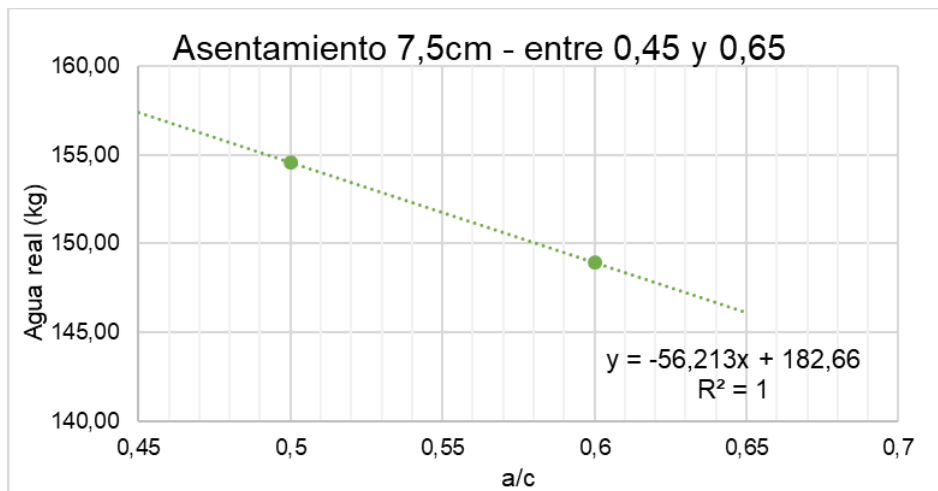


Gráfico 12 – Curva a/c-agua As=7,5cm

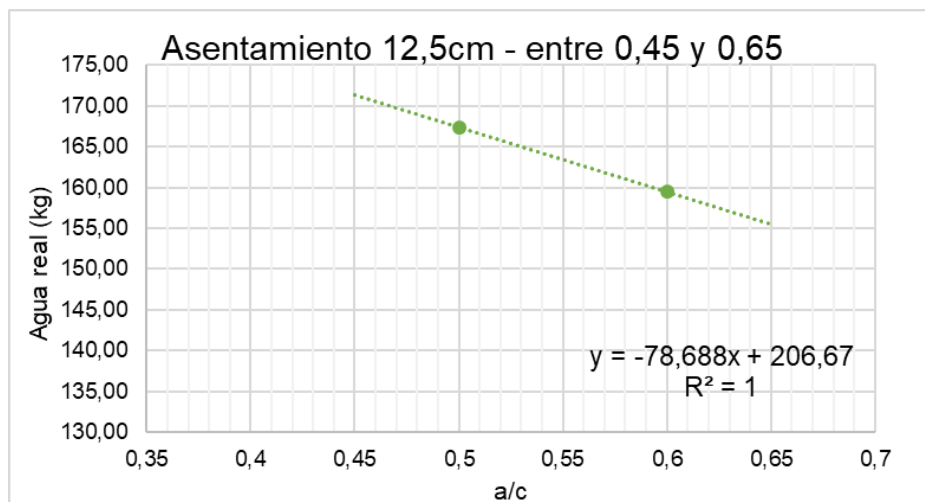


Gráfico 13 – Curva a/c-agua As=12,5cm

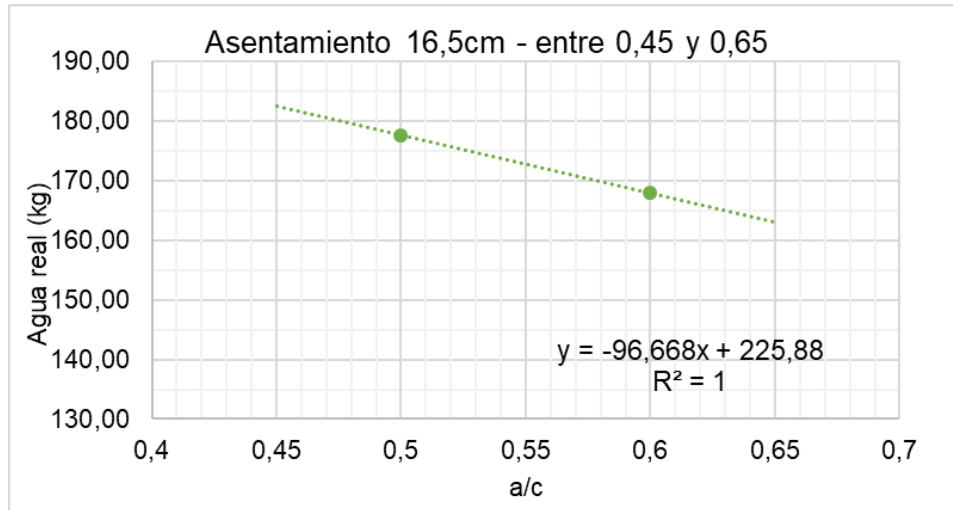
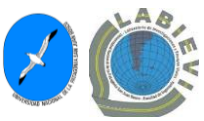


Gráfico 14 – Curva a/c-agua As=16,5cm

La tabla obtenida es la siguiente:

As(cm)	As medio (cm)	Razón a/c				
		0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
		Contenido de agua real (kg)				
2 a 5	<b>3,5</b>	146,26	144,34	142,43	140,52	138,61
5 a 10	<b>7,5</b>	157,36	154,56	151,74	148,94	146,12
10 a 15	<b>12,5</b>	171,26	167,33	163,39	159,46	155,52
15 a 18	<b>16,5</b>	182,38	177,55	172,71	167,88	163,05

Tabla 30 – Resultados finales



## Conclusiones

A lo largo de las prácticas realizadas, se pudo comprobar la influencia que tiene el contenido de agua en las mezclas de hormigón.

Es de gran importancia que se ejecute de forma correcta la medición del contenido de humedad de los agregados. Una mala ejecución llevó a obtener hormigones con asentamientos y resistencias diferentes a las esperadas en la primer etapa del trabajo. Cuando se realizó de forma correcta, se pudieron obtener resultados coherentes y esperados.

Cuando se requiera confeccionar hormigones de razón  $a/c$  0,40 o menores con asentamientos elevados, se deberá hacer uso de aditivos fluidificantes que permitan obtener dichos resultados sin aumentar el contenido de agua. Esto es así porque se observó que se requiere de un gran contenido de cemento para poder obtener los resultados esperados y esto implica un costo económico elevado.

Se logró obtener de forma satisfactoria una tabla que brinda valores de contenido de agua y razón agua/cemento en función del asentamiento con el que se desee trabajar, utilizando materiales de la zona (agregados redondeados).



## Bibliografía

- ACI Committee 211. (2022). Selecting proportions for normal - density and high - density concrete – guide. American Concrete Institute.
- ACI PRC 211-1. (2022). Diseño de mezclas de hormigón. American Concrete Institute.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). (2015). CIRSOC 201-5: Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- A. M. Neville. (2003). Tecnología del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- M.S. Shetty. (2005). Concrete Technology. Theory and Practice. Ed. S. Chand & Company LTD.
- Positieri, M. J., López, R., Baronetto, C. E., & Gonzalez, M. (2016). Influencia de la forma y textura de las arenas en la demanda de agua de los hormigones. Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2005). IRAM 1505: Análisis granulométrico.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (1987). IRAM 1509: Muestreo de agregado para hormigones.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2002). IRAM 1520: A. Fino densidad y absorción.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2002). IRAM 1533: A. Grueso densidad y absorción.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2004). IRAM 1540: Material fino pasa 75µm lavado.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2003). IRAM 1548: Densidad granel y espacios vacíos.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (1992). IRAM 1682: Fino equivalente arena.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2005). IRAM 1624: Densidad Cemento.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2004). IRAM 1534: Preparacion y curado en Laboratorio de probetas.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (1978). IRAM 1536: Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2001). IRAM 1541: Muestreo de Hormigon fresco.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (1543). IRAM 1546: Compresión.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (1978). IRAM 1562: Densidad Rendimiento Contenido Aire Hormigón.

Anexo I

Identificación		Fecha		Edad	d	Q	$\sigma_c$	$\sigma_{cm}$
Laboratorio	a/c	Moldeo	Rotura	[días]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
139/23	0,55	02/11/23	30/11/23	28	153	442,9	24,1	23,4
140/23	0,55	02/11/23	30/11/23	28	152	415,5	22,9	
141/23	0,55	02/11/23	30/11/23	28	151	454,7	25,4	
142/23	0,55	02/11/23	30/11/23	28	152	407,4	22,5	
143/23	0,55	02/11/23	30/11/23	28	152	398,4	22,0	
157/23	0,55	15/11/23	13/12/23	28	151	400,2	22,3	-
158/23	0,55	15/11/23	13/12/23	28	152	522,9	28,8	
159/23	0,55	21/11/23	19/12/23	28	151	487,3	27,2	-
160/23	0,55	21/11/23	19/12/23	28	152	345,6	19,0	
161/23	0,55	24/11/23	30/11/23	6	152	280,9	15,5	-
162/23	0,55	24/11/23	30/11/23	6	151	180,4	10,1	
163/23	0,55	27/11/23	04/12/23	7	151	335,7	18,7	-
164/23	0,55	27/11/23	04/12/23	7	151	250,1	14,0	
165/23	0,55	28/11/23	05/12/23	7	151	214,1	12,0	-
166/23	0,55	28/11/23	05/12/23	7	151	336,8	18,8	
167/23	0,55	30/11/23	07/12/23	7	151	257,7	14,4	-
168/23	0,55	30/11/23	07/12/23	7	151	353,6	19,7	
169/23	0,55	04/12/23	11/12/23	7	151	247,8	13,8	-
170/23	0,55	04/12/23	11/12/23	7	151	344,4	19,2	
171/23	0,55	05/12/23	12/12/23	7	151	326,1	18,2	-
172/23	0,55	05/12/23	12/12/23	7	151	236,9	13,2	
174/23	0,55	06/12/23	13/12/23	7	151	334,9	18,7	-
175/23	0,55	06/12/23	13/12/23	7	150	260,1	14,7	
176/23	0,55	15/12/23	22/12/23	7	151	335,7	18,7	18,7
177/23	0,55	15/12/23	22/12/23	7	151	229,1	12,8	
178/23	0,55	15/12/23	22/12/23	7	151	333,7	18,6	

**Nota:** las celdas de resistencia media sin resultado corresponden a ensayos que han sido rechazados y los valores señalados en rojo corresponden a probetas que no verifican lo especificado en el Art. 4.1.6.2. del Reglamento CIRSOC 201-05.

Identificación		Fecha		Edad	d	Q	$\sigma_c$	$\sigma_{cm}$
Laboratorio	a/c	Moldeo	Rotura	[días]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
025/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	151	378,4	21,1	-
026/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	151	507,9	28,4	
027/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	152	294,2	16,2	
028/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	150	555,5	31,4	
029/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	151	405,0	22,6	
030/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	152	420,3	23,2	
031/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	151	546,1	30,5	
032/24	0,55	19/03/24	16/04/24	28	151	506,6	28,3	
034/24	0,45	03/04/24	10/04/24	7	152	294,4	16,2	-
035/24	0,45	03/04/24	10/04/24	7	152	382,4	21,1	
036/24	0,45	03/04/24	01/05/24	28	152	489,0	27,0	28,9
037/24	0,45	03/04/24	01/05/24	28	151	530,7	29,6	
038/24	0,45	03/04/24	01/05/24	28	152	507,9	28,0	
039/24	0,45	03/04/24	01/05/24	28	152	229,1	12,6	
040/24	0,45	03/04/24	01/05/24	28	152	525,7	29,0	
041/24	0,45	03/04/24	01/05/24	28	152	561,9	31,0	
042/24	0,50	03/04/24	10/04/24	7	151	394,3	22,0	21,7
043/24	0,50	03/04/24	10/04/24	7	151	383,0	21,4	
044/24	0,50	03/04/24	01/05/24	28	152	518,9	28,6	30,1
045/24	0,50	03/04/24	01/05/24	28	151	542,6	30,3	
046/24	0,50	03/04/24	01/05/24	28	151	543,8	30,4	
047/24	0,50	03/04/24	01/05/24	28	151	537,0	30,0	
048/24	0,50	03/04/24	01/05/24	28	152	536,6	29,6	
049/24	0,50	03/04/24	01/05/24	28	152	577,9	31,8	
053/24	0,40	10/04/24	08/05/24	28	151	605,0	33,8	31,7
054/24	0,40	10/04/24	08/05/24	28	153	587,1	31,9	
055/24	0,40	10/04/24	08/05/24	28	151	522,4	29,2	
056/24	0,40	10/04/24	08/05/24	28	151	455,7	25,4	
057/24	0,40	10/04/24	08/05/24	28	152	563,1	31,0	
058/24	0,40	10/04/24	08/05/24	28	152	595,6	32,8	
063/24	0,60	15/04/24	13/05/24	28	151	440,7	24,6	23,4
064/24	0,60	15/04/24	13/05/24	28	152	409,7	22,6	
065/24	0,60	15/04/24	13/05/24	28	152	420,4	23,2	
066/24	0,60	15/04/24	13/05/24	28	152	127,9	7,1	
067/24	0,60	15/04/24	13/05/24	28	152	424,0	23,4	
068/24	0,60	15/04/24	13/05/24	28	151	416,5	23,3	
069/24	0,65	15/04/24	13/05/24	28	151	191,3	10,7	12,2
070/24	0,65	15/04/24	13/05/24	28	151	219,3	12,2	
071/24	0,65	15/04/24	13/05/24	28	152	200,6	11,1	
072/24	0,65	15/04/24	13/05/24	28	153	246,4	13,4	
073/24	0,65	15/04/24	13/05/24	28	151	224,4	12,5	
074/24	0,65	15/04/24	13/05/24	28	151	240,6	13,4	
075/24	0,35	15/04/24	13/05/24	28	151	661,9	37,0	36,5
076/24	0,35	15/04/24	13/05/24	28	152	580,4	32,0	
077/24	0,35	15/04/24	13/05/24	28	151	644,2	36,0	
078/24	0,35	15/04/24	13/05/24	28	151	673,4	37,6	
079/24	0,35	15/04/24	13/05/24	28	152	652,9	36,0	
080/24	0,35	15/04/24	13/05/24	28	153	656,0	35,7	

Identificación		Fecha		Edad	d	Q	$\sigma_c$	$\sigma_{cm}$
Laboratorio	a/c	Moldeo	Rotura	[días]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
140/24	0,50	11/06/24	09/07/24	28	151	516,7	28,9	27,5
141/24	0,50	11/06/24	09/07/24	28	152	471,1	26,0	
142/24	0,50	11/06/24	09/07/24	28	150	541,5	30,6	
143/24	0,40	11/06/24	09/07/24	28	150	614,1	34,8	34,4
144/24	0,40	11/06/24	09/07/24	28	150	600,3	34,0	
148/24	0,60	13/06/24	11/07/24	28	150	491,4	27,8	29,6
149/24	0,60	13/06/24	11/07/24	28	151	556,7	31,1	
150/24	0,60	13/06/24	11/07/24	28	151	537,8	30,0	
153/24	0,50	25/06/24	28/06/24	3	151	238,8	13,3	13,2
154/24	0,50	25/06/24	28/06/24	3	151	234,9	13,1	
155/24	0,50	25/06/24	02/07/24	7	151	364,9	20,4	19,5
156/24	0,50	25/06/24	02/07/24	7	150	328,3	18,6	
174/24	0,55	04/07/24	11/07/24	7	150	377,8	21,4	-
175/24	0,55	04/07/24	11/07/24	7	151	307,2	17,2	
176/24	0,50	04/07/24	01/08/24	28	150	535,4	30,3	29,8
177/24	0,50	04/07/24	01/08/24	28	151	528,2	29,5	
178/24	0,50	04/07/24	01/08/24	28	152	535,4	29,5	
179/24	0,55	04/07/24	01/08/24	28	151	538,5	30,1	29,0
180/24	0,55	04/07/24	01/08/24	28	151	486,1	27,1	
181/24	0,55	04/07/24	01/08/24	28	151	534,6	29,9	
195/24	0,60	10/07/24	07/08/24	28	149	414,6	23,8	23,8
196/24	0,60	10/07/24	07/08/24	28	151	423,6	23,7	
197/24	0,60	10/07/24	07/08/24	28	150	421,0	23,8	
198/24	0,65	10/07/24	07/08/24	28	150	363,7	20,6	20,8
199/24	0,65	10/07/24	07/08/24	28	150	376,4	21,3	
200/24	0,65	10/07/24	07/08/24	28	151	306,1	17,1	
201/24	0,65	10/07/24	07/08/24	28	149	361,0	20,7	
202/24	0,65	10/07/24	07/08/24	28	151	364,9	20,4	
209/24	0,60	31/07/24	28/08/24	28	151	412,8	23,1	23,5
210/24	0,60	31/07/24	28/08/24	28	151	429,0	24,0	
211/24	0,60	31/07/24	28/08/24	28	151	420,3	23,5	
212/24	0,35	31/07/24	28/08/24	28	151	550,4	30,7	33,0
213/24	0,35	31/07/24	28/08/24	28	151	585,3	32,7	
214/24	0,35	31/07/24	28/08/24	28	150	627,2	35,5	
218/24	0,45	05/08/24	08/08/24	3	151	311,9	17,4	17,0
219/24	0,45	05/08/24	08/08/24	3	151	281,1	15,7	
220/24	0,45	05/08/24	08/08/24	3	151	321,6	18,0	
221/24	0,45	05/08/24	12/08/24	7	151	332,0	18,5	24,8
222/24	0,45	05/08/24	12/08/24	7	151	451,4	25,2	
223/24	0,45	05/08/24	12/08/24	7	151	437,0	24,4	
224/24	0,45	05/08/24	19/08/24	14	151	459,2	25,6	30,2
225/24	0,45	05/08/24	19/08/24	14	150	525,1	29,7	
226/24	0,45	05/08/24	19/08/24	14	150	542,4	30,7	
227/24	0,45	05/08/24	02/09/24	28	153	392,0	21,3	33,8
228/24	0,45	05/08/24	02/09/24	28	151	584,1	32,6	
229/24	0,45	05/08/24	02/09/24	28	150	616,5	34,9	
233/24	0,40	08/08/24	05/09/24	28	151	545,4	30,5	33,1
234/24	0,40	08/08/24	05/09/24	28	151	638,1	35,6	
235/24	0,40	08/08/24	05/09/24	28	152	410,5	22,6	
236/24	0,55	08/08/24	05/09/24	28	151	445,4	24,9	25,1
237/24	0,55	08/08/24	05/09/24	28	151	429,2	24,0	
238/24	0,55	08/08/24	05/09/24	28	151	470,3	26,3	