

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



PLAN DE TESIS

**“DETERIORO DEL CONCRETO ARMADO POR ATAQUE
DEL CLORURO FÉRRICO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ELABORADO POR

PAMELA TORRES VELÁSQUEZ

ASESOR

ING. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ

Lima- Perú

2019

Dedicado a:

Mis padres por su ejemplo de perseverancia y lucha.

Mi esposo por todo el apoyo en esta etapa.

*Mi asesor: Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú por su
paciencia y guía.*

ÍNDICE	
ÍNDICE	1
RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
PRÓLOGO	6
LISTA DE GRÁFICOS	7
LISTA DE TABLAS Y FOTOS.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1 GENERALIDADES.....	9
1.2 PROBLEMÁTICA	9
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1. Objetivo General.....	9
1.3.2. Objetivos Específicos.....	9
1.4 HIPÓTESIS.....	10
1.4.1. Hipótesis General	10
1.4.2. Hipótesis Específicas.....	10
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.1 DEFINICIONES BÁSICAS	11
2.2 EL CONCRETO	11
2.2.1 El cemento Portland.....	11
2.2.2 Agregados	12
2.2.3 Agua	12
2.3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	12
2.4 DETERIORO DEL CONCRETO	14
2.5 CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN AL 42%.....	15
2.6 USOS DEL CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN AL 42%.....	15
2.7 ATAQUE AL CONCRETO POR CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN AL 42%	16
CAPÍTULO III. ENSAYOS.....	18
3.1 ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	18
3.1.1 Peso Unitario	18
3.1.2 Ensayo de Consistencia del Concreto.....	19
3.1.3 Exudación.....	20
3.1.4 Tiempo de fraguado.....	21
3.1.5 Fluidez	23

3.2 ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	24
3.2.1 Resistencia a la compresión	24
3.2.2 Ensayo de absorción total de agua	25
3.3 ENSAYOS DE ACERO CORRUGADO	26
3.3.1. Ensayo de máxima tensión	26
3.4 ENSAYOS DEL AGREGADO FINO	26
3.4.1 Peso específico	26
3.4.2 Absorción.....	27
3.4.3 Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado	28
3.4.4 Granulometría.....	28
3.4.5 Contenido de humedad.....	29
3.4.6 Cantidad que pasa la malla N°200.....	29
3.5 ENSAYOS DEL AGREGADO GRUESO	29
3.5.1. Peso específico	29
3.5.2 Absorción.....	30
3.5.3 Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado	31
3.5.4 Granulometría.....	31
3.5.5 Modulo de Fineza	32
3.5.6 Contenido de Humedad	32
CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR CORROSIÓN	
ACELERADA.....	33
4.1 METODO DE ENSAYO.....	33
4.2 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE EL ENSAYO	33
4.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CORROSIÓN.....	34
CAPÍTULO V. RESULTADOS DEL ENSAYO.....	36
5.1 GRÁFICO DE PESO VS CICLOS DE ENSAYO.....	36
5.2 GRÁFICO DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO VS CICLOS DE ENSAYO	45
5.3 ASPECTOS FÍSICOS DE LAS MUESTRAS	54
5.4 VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	62
5.4 VALORES DEL ENSAYO A TRACCIÓN EN LAS VARILLAS DE ACERO	62
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	63
6.1 MÁXIMO VALOR DEL PESO.....	63
6.2 MÍNIMO VALOR DEL PESO	64

6.3 MÁXIMOS Y MÍNIMOS VALORES DEL PESO	65
6.4 VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO	65
6.5 PÉRDIDA DE MATERIAL ACUMULADO	67
6.6 RASGOS FÍSICOS SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS MUESTRAS DURANTE EL ENSAYO DE CORROSIÓN ACELERADA.....	68
6.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	68
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS	74
ANEXO 1:.....	75
ANEXO 2:.....	77
ANEXO 3:.....	78
ANEXO 4.....	80
ANEXO 5.....	87
ANEXO 6.....	90
ANEXO 7.....	93

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo conocer el deterioro del concreto simple y armado con cemento Portland Tipo I por ataque del Cloruro Férrico en solución al 42% ya que muchas estructuras de concreto, como tanques, se encuentran expuestas a este químico por ser usado como parte del tratamiento de potabilización del agua.

Para conocer el deterioro se utilizaron probetas de tamaño 4"x8" de concreto simple y concreto armado (con una varilla de 10 cm de largo al centro) de relación a/c = 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70 y varillas de acero corrugado de 3/8" de diámetro que fueron sometidas a corrosión acelerada mediante el proceso descrito en la tesis del Ing. José Luis Díaz Lazo titulada "Corrosión del cemento por ataque de Sulfatos".

Luego de culminar con el ensayo de corrosión acelerada se procedió a identificar las variaciones de peso de las probetas respecto a las probetas patrón también se identificaron los valores de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de las probetas respecto a las probetas patrón, con la finalidad de conocer el deterioro del concreto.

Finalmente, el presente trabajo de investigación podrá ser usada como guía para los constructores que se encuentren trabajando en estructuras expuestas al Cloruro Férrico en solución al 42%, así mismo servirá como guía para los investigadores que deseen profundizar su conocimiento y determinar el deterioro o corrosión del concreto expuesto a este químico.

ABSTRACT

The objective of this research work is determine the deterioration of simple concrete and the reinforcement concrete with Portland Type I cement by attack of Ferric Chloride in 42% solution because many concrete structures, such as tanks, are exposed to this chemical by be used as part of the water purification treatment.

In order to know the deterioration, It was used pieces of size 4 "x8" of simple concrete and reinforced concrete (with a Corrugated steel rod of 10 centimeters of length into the center) of relation $a / c = 0.45, 0.50, 0.60$ and 0.70 and corrugated steel rods were used of $3/8$ " of diameter that were subjected to accelerated corrosion by the process described in the thesis of Eng. José Luis Díaz Lazo entitled " Corrosion of cement by attack of sulphates. "

After completing the accelerated corrosion test, we proceeded all of the data to identify the weight variations of the test specimens with respect to the standard specimens; the values of the mechanical, physical and chemical properties of the specimens with respect to the standard specimens, with the purpose to know the deterioration of concrete.

Finally, this research work can be used as a guide for builders who are working on structures exposed to Ferric Chloride in 42% solution, also it can be used as a guide for researchers who wish to deepen their knowledge and determine the deterioration or corrosion of the concrete exposed to this chemical.

PRÓLOGO

La versatilidad y el bajo costo del concreto permite que sea usado en distintas obras civiles, una ellas son los tanques de almacenamiento de químicos como el Cloruro Férrico en Solución al 42% que es usado como coagulante en la potabilización del agua.

Realmente no se conoce con exactitud los efectos que ocasionarían en las propiedades mecánicas, físicas y químicas de concretos expuestos a este químico.

Por todo lo expuesto anteriormente, la presente investigación va dirigida a constructores, proyectistas, supervisores, investigadores y público en general que desee conocer los efectos y tomar acciones en caso estén frente a este tipo de estructuras.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú
Asesor

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Peso Unitario de cada diseño de mezcla	18
Gráfico 2. Consistencia del concreto de cada diseño de mezcla.....	19
Gráfico 3. Porcentaje de exudación para cada diseño de mezcla	21
Gráfico 4. Tiempo de fragua inicial y final para cada diseño de mezcla	22
Gráfico 5. Fluidez para cada diseño de mezcla	24
Gráfico 6. Resistencia a la compresión para cada diseño de mezcla.....	25
Gráfico 7. Absorción total de agua para cada diseño de mezcla.....	26
Gráfico 8: curva de concreto simple, a/c:0.45	37
Gráfico 9: curva de concreto simple, a/c:0.50	38
Gráfico 10: curva de concreto simple, a/c:0.60	39
Gráfico 11: curva de concreto simple, a/c:0.70	40
Gráfico 12: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.45.....	41
Gráfico 13: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.50.....	42
Gráfico 14: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.60.....	43
Gráfico 15: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.70.....	44
Gráfico 16: curva de concreto simple, a/c:0.45	46
Gráfico 17: curva de concreto simple, a/c:0.50	47
Gráfico 18: curva de concreto simple, a/c:0.60	48
Gráfico 19: curva de concreto simple, a/c:0.70	49
Gráfico 20: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.45.....	50
Gráfico 21: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c: 0.50.....	51
Gráfico 22: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c: 0.60.....	52
Gráfico 23: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c: 0.70.....	53

LISTA DE TABLAS Y FOTOS

Tabla 1: Máximos y mínimos valores del peso.....	65
Tabla 3: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.45.....	94
Tabla 4: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.50.....	96
Tabla 5: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.60.....	98
Tabla 6: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.70.....	100
Tabla 7: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C:0.45	102
Tabla 8: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C: 0.50	104
Tabla 9: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C: 0.60	106
Tabla 10: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C: 0.70	108
Foto 1. Pesado de muestras.....	35
Foto 2. Picaduras en muestras ensayadas	54
Foto 3. Picaduras y fisuras longitudinales	55
Foto 4. Agrietamiento en muestras	56
Foto 5. Grietas irregulares	57
Foto 6. Bordes desprendidos en muestras ensayadas	58
Foto 7. Superficie desprendida en muestras ensayadas.....	59
Foto 8. Desprendimiento de capa superficial.	60
Foto 9. Grietas e hinchazón en bordes.	61

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En la actualidad el concreto armado sigue siendo el material de construcción más utilizado en obras de pequeña, mediana y gran envergadura. Sin embargo, su tiempo de vida útil se ve disminuido, entre otros factores, por ataques de cloruros y sulfatos. Es por ello que se han realizado diversas tesis de investigación que han permitido mejorar la durabilidad del concreto y acero de refuerzo ante los ataques del cloruro de sodio y sulfatos. Sin embargo, el concreto armado no solo se encuentra expuesto a estos agentes agresivos ya que gracias a su bajo costo y versatilidad, es usado también en estructuras de almacenamiento o que están involucradas en el almacenamiento (tales como soporte de tanques, pisos y muros) de cloruro férrico, que es usado como coagulante en el proceso de clarificación del agua para consumo de la población (indispensable para la potabilización del agua). Es por ello que es importante estudiar el daño que ocasiona el cloruro férrico en contacto con el concreto armado, ya sea en tanques de almacenamiento o por derrames.

1.2 PROBLEMÁTICA

Identificar y estudiar los daños en el concreto y acero de refuerzo en estructuras que están expuestas al ataque de cloruro férrico ya sea por contacto directo (tanques de almacenamiento) o por contacto indirecto (salpicaduras, derrames, etc.).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Mejorar la construcción de las estructuras involucradas en el almacenamiento de cloruro férrico, teniendo en cuenta el deterioro al que está expuesto el concreto y el acero de refuerzo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evitar disminución de resistencia del concreto y del acero.
- Evitar pérdidas económicas en reparaciones de estructuras deterioradas.
- Preservar el tiempo de vida útil de las estructuras de concreto armado.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

Como hipótesis tenemos que el cloruro férrico $FeCl_3$ puede reaccionar con alguno de los componentes del concreto, provocando deterioro en las estructuras. Sin embargo, la corrosión del acero de refuerzo depende de la protección que le da el concreto, ya que a mayor recubrimiento o a menor permeabilidad se impedirá que el cloruro férrico llegue al acero, reaccione y se produzca la corrosión.

1.4.2. Hipótesis Específicas

Las estructuras de concreto expuestas a Cloruro Férrico en Solución al 42% pueden presentar fisuras, desprendimientos. El acero de refuerzo expuesto a Cloruro Férrico en Solución al 42% puede disminuir su tensión F_y .

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIONES BÁSICAS

Los términos usados en esta investigación fueron:

- Probetas: muestras de concreto armado en moldes cilíndricos de 4" de radio y 8" de altura.
- Probetas patrón: son las probetas sanas, es decir sin ser sometidas al ensayo de corrosión acelerada que fueron utilizadas como referencias.
- Relación a/c: es el cociente de la cantidad de agua y cemento, ambos expresados en volumen.

2.2 EL CONCRETO

El concreto es un material de construcción utilizado por el hombre por su bajo costo y fácil acceso. Este material de construcción es en principio la mezcla de cemento, agua y agregado fino y agregado grueso, sin embargo, por su versatilidad al ser empleado en diversos lugares y para diversas funciones, el concreto se ve expuesto y susceptible a sufrir daños, por ello se le podría añadir aditivos, adiciones fibras, etc., según el criterio de cada diseñador (Rivva, 2014).

El concreto al ser débil a la tensión se refuerza con varillas de acero dando como lugar al concreto armado (Del Valle, 2001).

Para la presente tesis se utilizaron los siguientes materiales, cemento Portland, agregado fino y agregado grueso, agua y acero de refuerzo con todo ello se prepararon las probetas de concreto simple y armado.

2.2.1 El cemento Portland

Es el componente más importante del concreto, está considerado dentro de los Aglomerados Hidráulicos ya que se endurecen al contacto con el agua y es el encargado de la resistencia a la compresión del concreto, además de tener características del tipo adherentes. Por ello es importante la selección y dosificación del cemento para la obtención del concreto deseado.

El cemento Portland moderno se da a partir de 1845 mediante un procedimiento industrial de triturar rocas calcáreas con rocas arcillosas que una vez hecho polvo se lleva al horno a temperatura de 1450°C para finalmente dar como resultado al Clinker. Sin embargo, el Clinker posee partículas de diferentes tamaños es por eso que se añade yeso y vuelve a pasar por un proceso de trituración hasta que quede polvo fino (Rimarachín, 2013).

Para la presente tesis se utilizó Cemento Portland Tipo I marca Sol.

2.2.2 Agregados

Los agregados son los que ocupan el mayor volumen en la mezcla de concreto, estos pueden ser agregados finos y gruesos y sus requisitos se indican en la Norma NTP 400.037 y se complementará con las especificaciones técnicas de cada proyecto (Rivva, 2014).

Para la presente tesis se utilizó Agregado Fino y Agregado Grueso de la cantera Trapiche y Fil respectivamente.

2.2.3 Agua

El agua a utilizar en la mezcla deberá cumplir con los requisitos de las normas ASSHTO M-144, ASTM-T26 y ASTM D-1293; así también deberá seguir las recomendaciones de ACI 618-07 (Rivva, 2014).

Para la presente tesis se utilizó agua potable.

2.2.4 Acero de refuerzo

Las barras de acero son utilizadas para ayudar al concreto a resistir las tensiones si el diámetro es mayor o igual a 8 mm deberán ser barras corrugadas, las de diámetro inferior podrán ser lisas.

Para la presente tesis se utilizaron barras de acero corrugado de 3/8" de diámetro de la marca Aceros Arequipa.

2.3 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Para alcanzar las características deseadas del concreto es necesario dosificar los materiales empleados. Para esto existen múltiples métodos de diseño de mezcla, sin embargo, previo a usar cualquier diseño se debería seguir estos pasos (Cachay, 1995).

- Estudiar los planos y especificaciones técnicas
- Seleccionar la resistencia a la compresión promedio que se indica en los planos y especificaciones técnicas
- Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado grueso teniendo en cuenta a qué elemento estructural se realizará el vaciado y de qué forma se realizará ello

- Elegir el asentamiento de la mezcla en donde también se tendrá en cuenta a qué elemento estructural se realizará el vaciado y de qué forma se realizará ello si es hay o no facilidades de vibración
- Determinar la cantidad de agua empleada por unidad de volumen de concreto
- Determinar el porcentaje de aire total
- Seleccionar la relación agua/cemento según la resistencia a compresión que desea obtener
- Seleccionar la relación agua/cemento según la durabilidad o el grado de exposición al que estará sometida la estructura
- Seleccionar la menor relación agua/cemento
- Determinar el volumen de cemento por unidad de volumen de concreto según la cantidad de agua y la relación agua/cemento
- Determinar la cantidad de agregado fino y agregado grueso. La cantidad de agregado dependerá del método de diseño empleado
- Se obtiene la cantidad de cada agregado sin corregir la cantidad de agua por la humedad propia de cada agregado
- Se corrige la cantidad de agua considerando la absorción y humedad del agregado fino y agregado grueso
- Ajustar las proporciones de cada material considerando los ensayos en obra o laboratorio.

Algunos métodos de diseño de mezcla de concreto son: Método del ACI, Método Walker, Método del Agregado Global, etc. (Cachay, 1995).

Para la presente tesis se utilizó el Método del Agregado Global que se explica a mayor detalle a continuación:

Se trata de eliminar la mayor cantidad de vacíos que se generan en los agregados, para esto se realiza la mezcla del agregado fino con el grueso y se hacen pruebas repetitivas para determinar la mayor acomodación de partículas que garantizarán menor cantidad de vacíos. Una forma de determinar la mejor acomodación de partículas es haciendo una curva de densidad para diferentes proporciones, en donde se tomará el mayor valor de la curva como proporción de los agregados. En los anexos se adjunta los ensayos realizados a los agregados por separado y en conjunto.

En los anexos se adjunta los valores para cada diseño de mezcla.

2.4 DETERIORO DEL CONCRETO

La calidad del concreto depende de los materiales utilizados y de la dosificación, a su vez proporciona recubrimiento a la barra de acero corrugado actuando como capa protectora que es reforzada por el valor alcalino de PH que el concreto alcanza luego de la reacción de hidratación del cemento. Sin embargo, por la versatilidad del concreto es usado y expuesto a agentes agresivos que desencadenan el deterioro y la corrosión. Los agentes agresivos pueden estar presentes desde la mezcla del concreto o pueden penetrar cuando la estructura está en servicio, ocasionando que se desencadene la corrosión en la mezcla y/o en el acero de refuerzo (Del Valle, Pérez y Martínez, 2001).

Algunos ataques al concreto son:

- Ataques químicos por ácidos
- Ataques químicos por bases
- Ataques químicos por sulfatos
- Ataques químicos por cloruros
- Ataques químicos por sustancias diversas
- Ataques químicos biológicos
- Ataques químicos por agua
- Ataques químicos por gases
- Ataques químicos por reacción cemento-agregado
- Ataques físicos por congelación
- Ataques físicos por desgaste superficial
- Ataques físicos por altas temperaturas
- Ataques físicos por radiación
- Ataques físicos-químicos por corrosión
- Ataques físicos por sismos, empuje de tierras, acción de raíces, explosiones, etc. (Rivva, 2014).

Luego de los ataques el deterioro o corrosión se desencadenan y pueden manifestarse de algunas formas individual o simultáneamente:

- En las barras de acero corrugado, el diámetro disminuye y esto afecta sus propiedades mecánicas para las que fue diseñada.

- En el concreto, porque al oxidarse la barra de acero, estos óxidos se expanden y provocan fisuras y desprendimientos.
- En el concreto, porque las sales u óxidos que se alojan en los poros se expanden ocasionando fisuras y desprendimientos (Del Valle, Pérez y Martínez, 2001).

Para la presente tesis se estudió el deterioro del concreto armado por ataque del Cloruro Férrico en Solución al 42%.

2.5 CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN AL 42%

El Cloruro Férrico también es conocido como Tricloruro de Hierro o Cloruro de Hierro III siendo su fórmula química $FeCl_3$. La obtención del Cloruro Férrico en Solución se da con la combinación del Cloruro Férrico en estado sólido mezclado con agua, sus características son (Andía, 2000):

- Fórmula química: $FeCl_3$
- Color: Pardo oscuro
- Concentración del Cloruro Férrico: 38 a 45% como % de $FeCl_3$
- Concentración de Cloruro Ferroso: No mayor de 0.5% como $FeCl_2$
- Acidez libre (%HCl): No mayor de 0.5
- Contenido de metales totales: No mayor de 0.01%
- Residuo insoluble (%): No mayor de 0.5%
- Densidad: 1.4 a 1.45 g/cc

Para la presente tesis se utilizó Cloruro Férrico en Solución al 42% de la marca Quimpac SA, en los anexos se adjunta las especificaciones técnicas.

2.6 USOS DEL CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN AL 42%

El agua superficial proviene de la erosión de suelos, disolución de sales minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas, fuera de ello la actividad humana añade descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. Todos estos factores ocasionan que el agua presente turbiedad y coloración lo cual no es aceptable para el consumo humano. Parte del proceso de potabilización del agua es separar estas partículas del agua mediante decantación, pero la decantación se vuelve más difícil cuando el tamaño de las

partículas es pequeño. A estas partículas se les conoce como coloides y son suspensiones estables que pueden ser hidrofílicos o hidrofóbos.

El objetivo entonces es desestabilizar a los coloides para favorecer su aglomeración mediante adición de químicos y la fuerza del mezclado, el Cloruro Férrico es el agente químico encargado de la coagulación y formar el floc en la potabilización del agua (Andía, 2000).

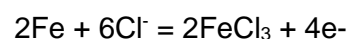
Sin embargo ¿en dónde se produce la relación del Cloruro Férrico con estructuras de concreto armado?, estas se producen en el almacenamiento de este.

Desde hace muchos años hacer tanques de concreto armado era la manera más económica y hoy en día se sigue utilizando tanques de ese material, si bien es cierto, se están reemplazando con tanques de FRP pero éstos a su vez tienen soportes y bases de concreto armado y el llenado de los tanques son diarios aumentando la probabilidad de contacto.

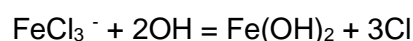
2.7 ATAQUE AL CONCRETO POR CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN AL 42%

El acero del refuerzo del concreto armado presenta dos protecciones contra la corrosión, la primera es el recubrimiento que actúa como barrera de agentes externos y la segunda la capa de óxido transparente, compacto y continua que es llamada capa pasivante formada en el transcurso de la hidratación del cemento. Esta capa pasivante logra mantenerse por el medio básico, en especial por el Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que tiene un PH entre 12 y 14.

Sin embargo, esta película protectora puede ser destruida por la corrosión causada por los iones cloruro, este proceso puede ocurrir así: El ion cloruro se comporta como catalizador para la oxidación, al oxidar al acero se forma el ion complejo cloruro férrico FeCl_3 arrastrando este ion inestable a la solución que reacciona con los iones hidroxilos para formar $\text{Fe}(\text{OH})_2$. El esquema químico se resuelve así:



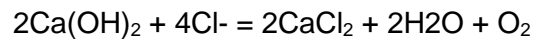
Luego el ion complejo FeCl_3 reacciona así:



Al liberar iones cloruro el proceso de corrosión aceleraría su desarrollo.

Se debe tener en cuenta que solamente los iones cloruro libres son los responsables de la corrosión del refuerzo y para la presente investigación, el cloruro férrico en solución al 42%, sí presenta iones cloruro.

Además de atacar al acero del refuerzo, los iones cloruro probablemente reaccionen químicamente con uno de los componentes que se forman al momento de hidratar el cemento, se trataría del hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y la reacción sería la siguiente:



Como producto resultante se tendría a la sal Cloruro de Calcio que tiene las características de cristalizarse y expandirse provocando un crack que causaría destrucción a la pasta de cemento. Al ir destruyendo la pasta de cemento, haría espacio para el ingreso de más iones cloruro que continuarían con el ataque al concreto y también facilitaría el paso de los iones cloruro hasta el acero de refuerzo.

CAPÍTULO III. ENSAYOS

Para determinar la calidad de la mezcla de concreto fue necesario hacer ensayos que son explicados abajo tanto para los agregados como para mezcla final.

3.1 ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO

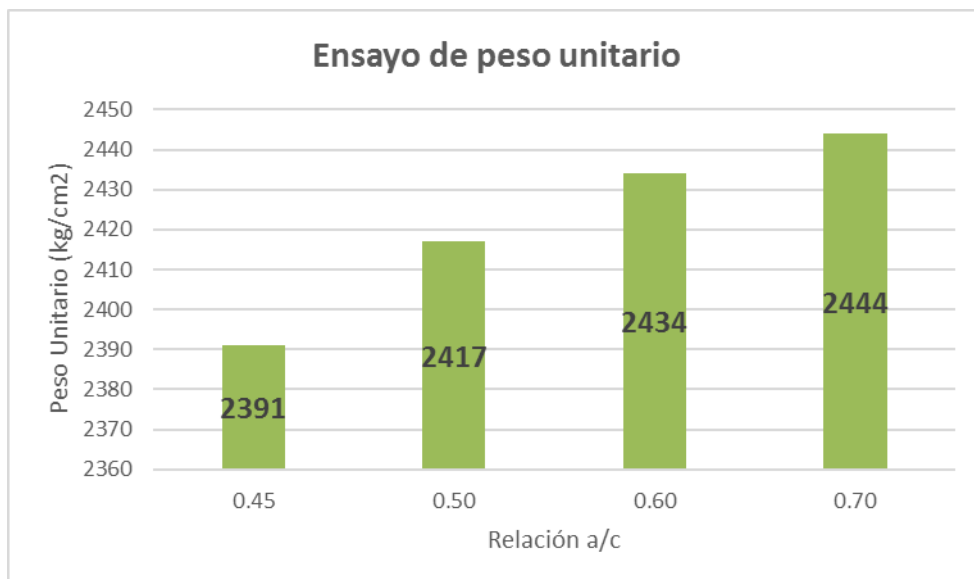
3.1.1 Peso Unitario

El peso unitario de la mezcla se determinó según la NTP 339.046 siendo el procedimiento:

- Llenar con concreto el recipiente hasta un tercio de su capacidad para luego compactarla con 25 golpes: de la misma manera se llenan las dos capas restantes con la misma cantidad de golpes para su compactación.
- En la última capa se enrasa el material sobrante y se golpe en la superficie con la finalidad de eliminar los vacíos.
- Se pesa el recipiente.

Los valores promedio se encontraron nos permitieron clasificarlos como concretos de peso normal (1700 – 2500 kg/m³).

Gráfico 1. Peso Unitario de cada diseño de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

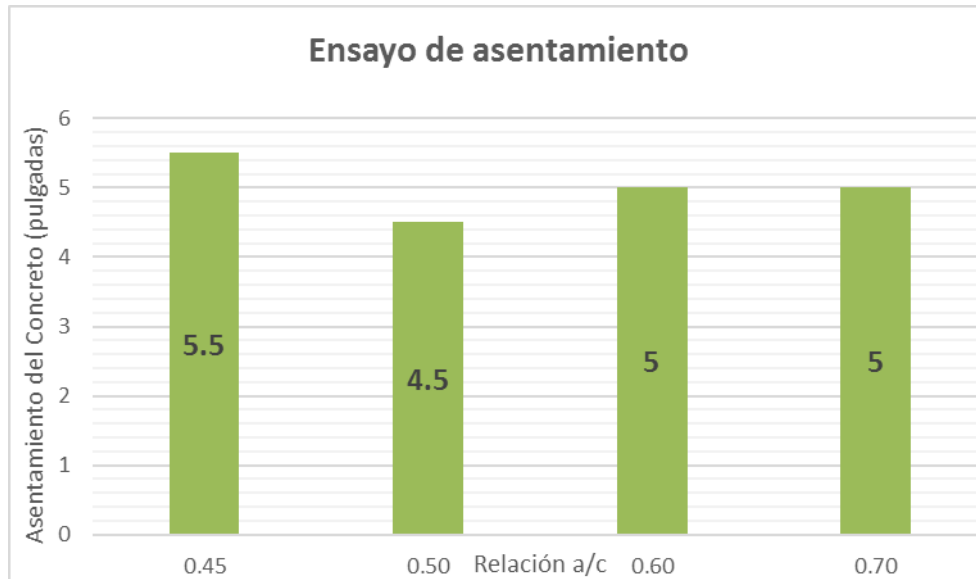
3.1.2 Ensayo de Consistencia del Concreto

La consistencia del concreto se determinó con el método del Cono de Abrams según la NTP 339-035.

El resultado de la prueba indica la capacidad del concreto de acomodarse y adaptarse al molde o encofrado en donde será vaciado asegurando su homogeneidad y la cantidad mínima de vacíos, es decir la trabajabilidad será medido aproximadamente en un número. El procedimiento consiste en:

- Se humedece el molde en forma de cono y la plancha metálica con la finalidad de no absorber agua.
- Se sujeta el molde pisando los peldaños con los que cuenta el molde.
- Luego se echar concreto hasta 1/3 de la capacidad del cono y se debe compactarla con 25 golpes de afuera hacia dentro es forma espiral.
- Se echa la segunda capa de concreto hasta la altura de 15.5 cm del cono y se procede a compactarla con cuidado de llegar a la primera capa, la indicación es compactar ligeramente.
- Se coloca la última capa de concreto y se compacta 25 golpes con cuidado de llegar a la segunda, la indicación es compactar ligeramente.
- Se elimina el concreto que haya caído a la plancha metálica y que haya en exceso en los bordes.
- Se golpea suavemente una de las generatrices del cono con la varilla que se utilizó en el compactado de la mezcla.
- Se saca el cono hacia arriba en un tiempo no mayor de 10 segundos, sin provocar movimientos al lado ni de torsión.
- Finalmente se coloca el molde en la plancha metálica con la varilla compactadora encima y horizontalmente para medir la distancia entre la mezcla de concreto y la parte inferior de la varilla. El valor medido en centímetros o pulgadas es el asentamiento de la mezcla.

Gráfico 2. Consistencia del concreto de cada diseño de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 Exudación

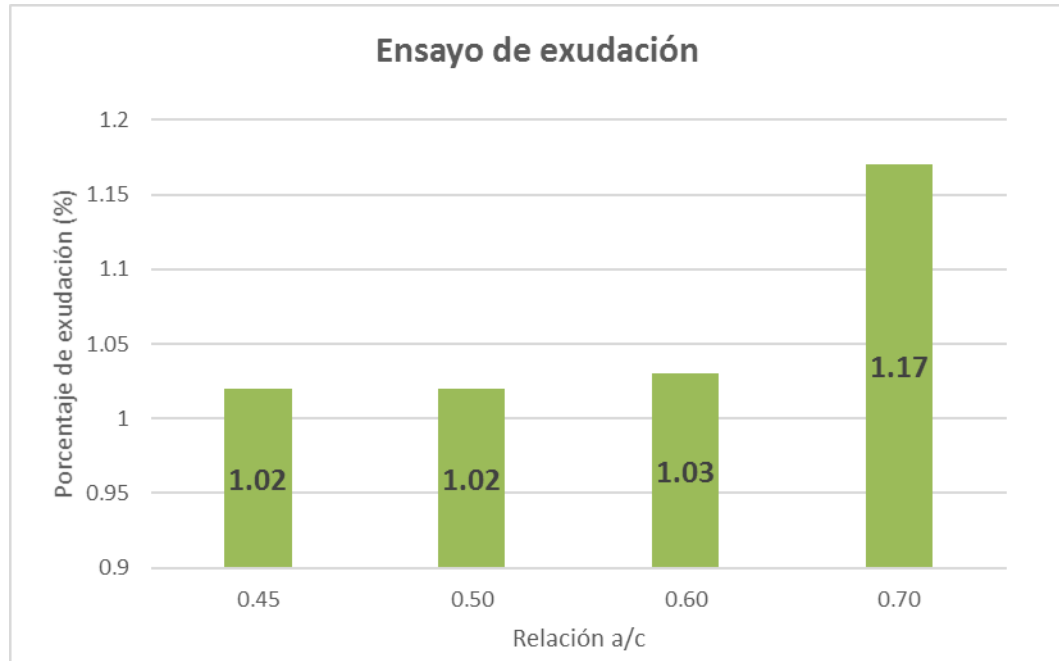
La consistencia del concreto se determinó según la NTP 339-077.

La definición de exudación es la separación del agua y de la mezcla de concreto que por capilaridad sube a la superficie de la misma, está inversamente proporcional a la cantidad de finos y a la fineza del cemento, es decir mientras más elementos finos haya y más fino sea la molienda del cemento la exudación será menor pues absorberá y retendrá mayor agua de mezcla. El procedimiento consiste en:

- Se coloca la mezcla de concreto en el molde de 1/2 pie cúbico en tres capas compactadas con 25 golpes.
- Se enrasa y elimina el material sobrante.
- Se elimina aproximadamente 1" de mezcla de concreto.
- Se pesa el molde con la mezcla.
- Se coloca un taco de 5 cm en la esquina del molde con la finalidad que el agua a exudar se acumule en un solo punto.
- Se extrae con una pipeta o jeringa el agua exudada cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos y luego cada 30 minutos hasta que termine el proceso de exudación.
- Luego de extraer toda el agua de exudación se regresa el molde a la posición horizontal.

- Se mide el volumen total extraído de agua con la finalidad de calcular el porcentaje de exudación y la velocidad de exudación.

Gráfico 3. Porcentaje de exudación para cada diseño de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

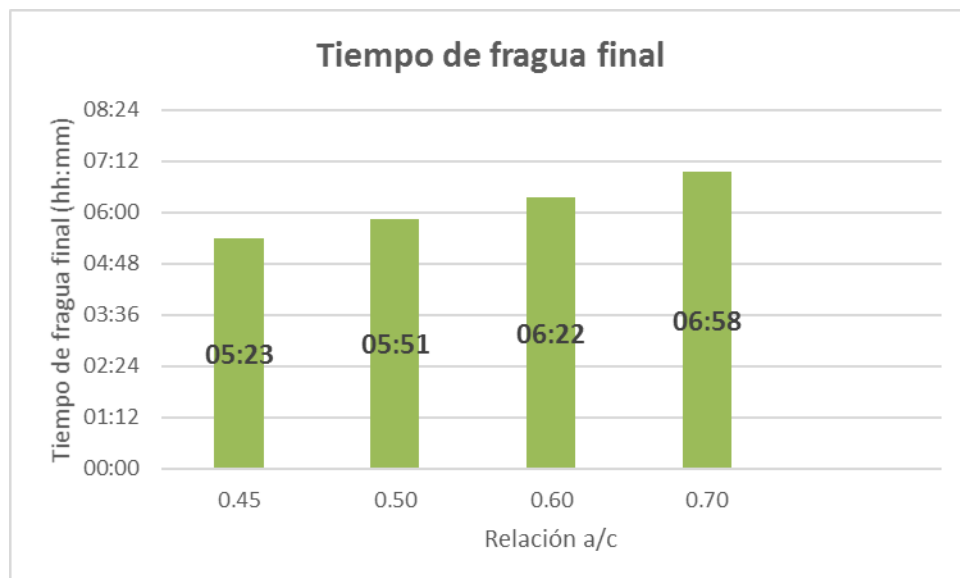
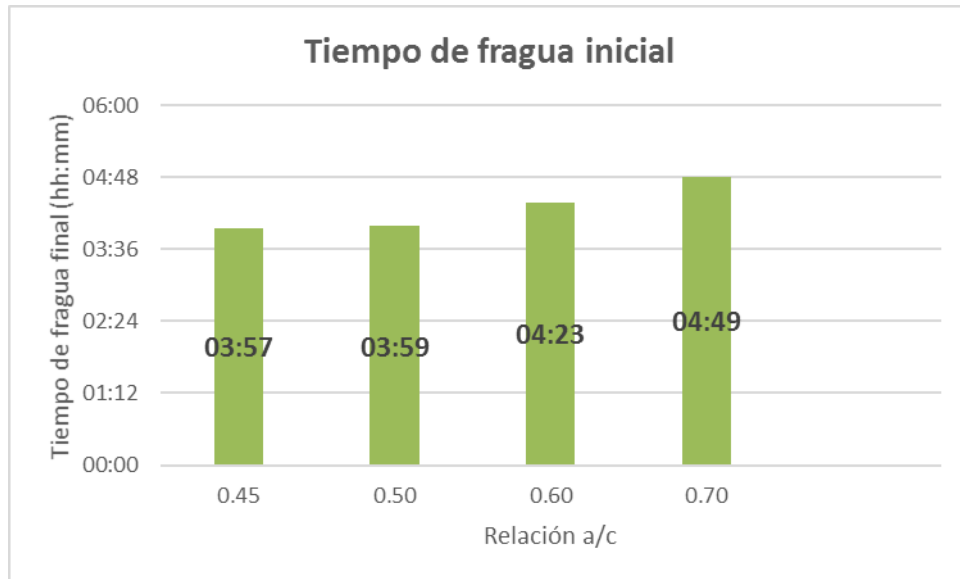
3.1.4 Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado se determinó según la NTP 339-082. La definición del tiempo de fraguado es el tiempo en que la mezcla de concreto pasa de estado líquido a sólido es importante conocer este tiempo para colocar y dar acabado a la mezcla de concreto sin inconvenientes. El procedimiento consiste en:

- Separar los dos moldes cilíndricos de 15 centímetros de diámetro de 15 centímetros de altura.
- Se prepara una tanda de mezcla de concreto de 0.02 metros cúbicos.
- Se tamiza la mezcla de concreto pasándola por la malla N°4, la mezcla que pasa dicha malla es mortero.
- Se vierte el mortero en los moldes en dos capas cada una con 27 golpes de compactación.
- Se enrasa y golpea los costados de los moldes con la finalidad de eliminar las burbujas de aire.

- Se alista las agujas de diámetros: 1 1/8", 13/16", 9/16", 5/16", 4/16" y 3/16".
- La muestra debe permanecer a temperatura de ambiente y bajo sombra.
- Se retira con pipeta o aguja el agua de exudación antes de dar por iniciado el ensayo.
- Se anota la hora en que se inicie el ensayo.
- Se coloca la aguja que corresponda al estado de endurecimiento de la mezcla y le penetra durante 10 minutos, luego se procede a anotar la fuerza aplicada, el área de la aguja y la hora del ensayo.
- La siguiente aguja para penetrar deberá estar distanciada mínimo 2 veces el diámetro de esta, pero en ningún caso deberá ser menos de 15 mm ni 25 mm desde el borde de la pared del recipiente.
- Para mezclas que se hayan preparado en condiciones normales y a temperaturas normales, el primer ensayo deberá hacerse al haber transcurrido de 3 a 4 horas y los demás cada 1 hora.
- Finalmente se calcula la resistencia a la penetración como el cociente de la fuerza aplicada entre el área de la aguja penetrada.

Gráfico 4. Tiempo de fragua inicial y final para cada diseño de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

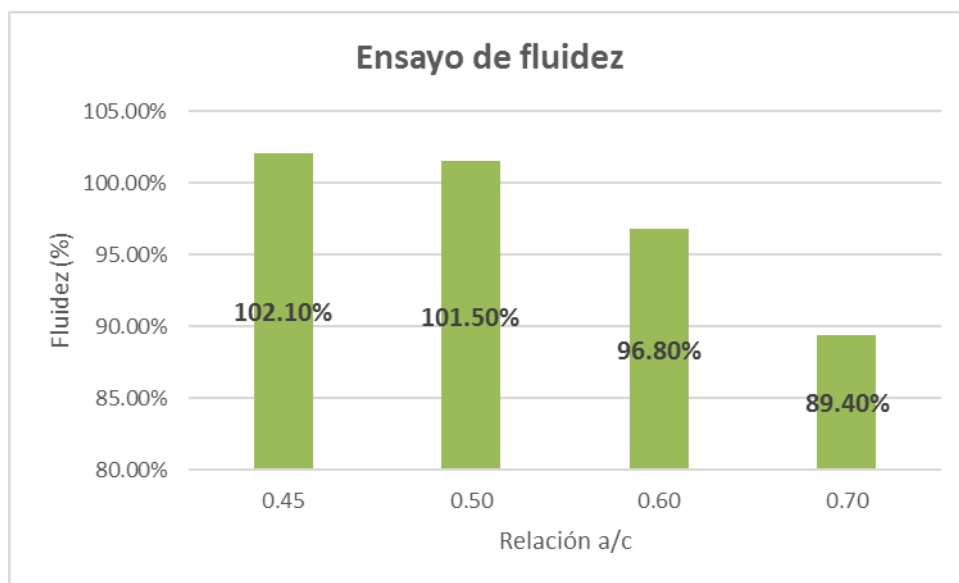
3.1.5 Fluidez

El ensayo de fluidez se determinó según la NTP 339-085. Con este ensayo se determina la resistencia que pone la mezcla de concreto a las deformaciones, esto va a depender del tamaño máximo de agregado, cantidad de agua en la mezcla, gradación y forma. El procedimiento consiste en:

- Se limpia la mesa de sacudidas sin dejar restos de agua.
- Se coloca el molde al centro de la mezcla.
- Se vierte la mezcla de concreto hasta la mitad de la altura del molde y se compacta con 25 golpes.

- Se vierte la mezcla de concreto hasta completar el molde y se compacta con 25 golpes.
- Se enrasa y limpia la mezcla sobrante en la mesa y la parte exterior del molde.
- Luego se saca el molde verticalmente hacia arriba lo más rápido posible.
- Se eleva la mesa hasta una altura de 12.5 mm y se deja caer 15 veces durante 15 segundos girando la manivela a una velocidad constante.
- Finalmente se toma 6 medidas del diámetro de la mezcla extendida y se saca la media aritmética.
- Se determina el índice de consistencia calculando el porcentaje del aumento del diámetro respecto al diámetro del molde inicial.

Gráfico 5. Fluidez para cada diseño de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

3.2 ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

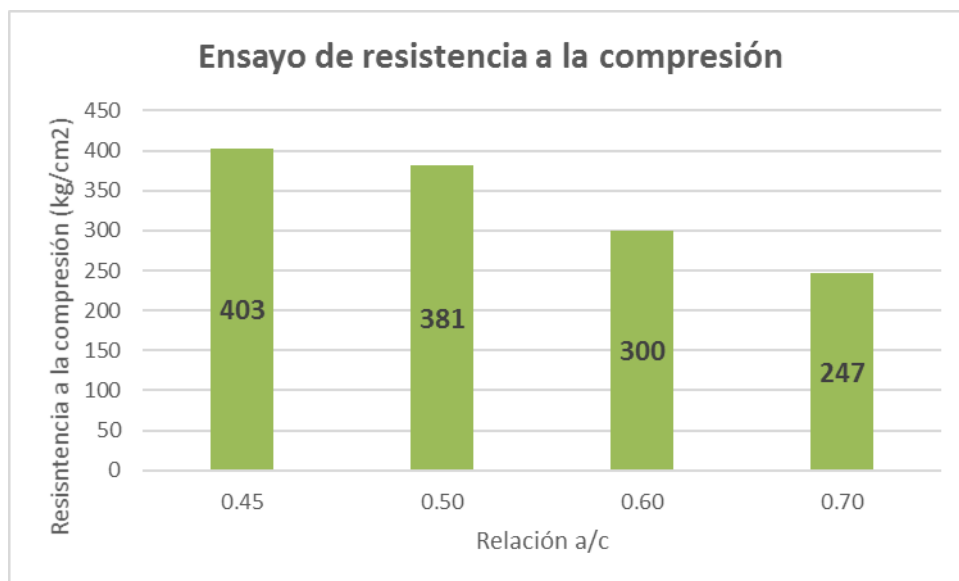
3.2.1 Resistencia a la compresión

Este ensayo permite obtener la resistencia del concreto a las fuerzas de compresión según la NTP 339.034. El procedimiento consiste en:

- Luego de elaborar la mezcla de concreto, se procede al llenado de las probetas de 4" de diámetro y 8" de altura en dos capas cada una compactando con 25 golpes.
- Se desmolda al día siguiente del llenado y se procede al curado de las probetas en una poza con agua limpia.
- Luego de 28 días de curado las probetas estarán listas para ser ensayadas.
- Se aplica la carga en la máquina de prensa hidráulica hasta que las probetas se rompan.
- Se anotan las fuerzas máximas y el área circular de las probetas.
- Finalmente, la resistencia a la compresión se calcula como el cociente de la fuerza máxima aplicada y el área de contacto.

En los anexos se muestran los valores de todas las probetas y debajo se muestra la media aritmética para cada diseño.

Gráfico 6. Resistencia a la compresión para cada diseño de mezcla



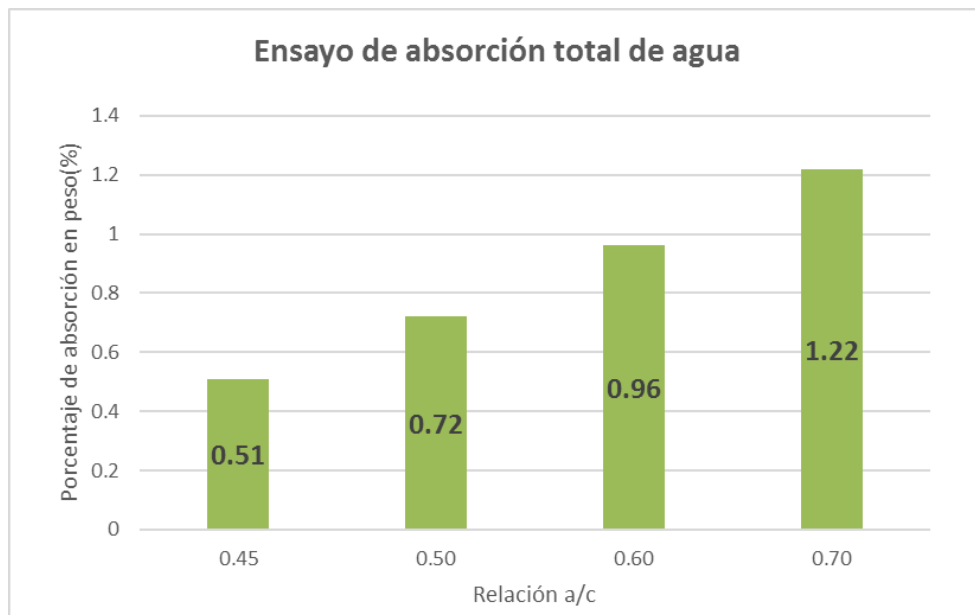
Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Ensayo de absorción total de agua

Este ensayo consiste en calcular la absorción de agua de muestras de concreto durante 1, 7 y 28 días inmersión puede ser con agua a presión o sin presión.

Para la presente tesis se realizó la inmersión en agua sin presión durante 1 día de probetas de concreto y se procedió a calcular el porcentaje del exceso respecto al peso inicial para así calcular la absorción total de agua.

Gráfico 7. Absorción total de agua para cada diseño de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

3.3 ENSAYOS DE ACERO CORRUGADO

3.3.1. Ensayo de máxima tensión

El ensayo de tensión se midió según la NTP 350.405. En los anexos se muestra los valores y gráficos de los ensayos.

3.4 ENSAYOS DEL AGREGADO FINO

3.4.1 Peso específico

El ensayo de ensayo de peso específico se determinó según la NTP 400-022. Se define como el cociente del peso de las partículas y el volumen libre de vacíos. El procedimiento consiste en:

- Se cuartea el material y se pesa 3 kilogramos.
- Se remoja dicha muestra en agua durante 24 horas.

- A las 24 horas se vacía el agua y se esparce la muestra en una superficie plana.
- Se deja secar y se comprueba si la muestra está saturada superficialmente seca, para ello se coloca la muestra en un molde de forma de cono tronco y se golpea 25 veces, si al sacar el molde la muestra se queda intacta significa que falta seca, sin embargo, si al sacar el molde la muestra se desmorona en su totalidad significa que ha secado demasiado, se debe obtener una muestra en donde quede parcialmente desmoronada y con una punta para considerarla como muestra SSS (saturada superficialmente seca).
- Pesar 500 gramos de la muestra SSS y echar en un recipiente tipo balón de vidrio para determinar el volumen desplazado de agua, el cual será el volumen de muestra SSS.
- Se pesa el balón de vidrio con la muestra SSS.
- Verter agua hasta 500 cm³ y agitar el balón para eliminar los vacíos.
- Se pesa el balón con el agua y el material SSS.
- Secar el material en el horno.
- Pesar la muestra totalmente seca.
- Finalmente se calcula el cociente del peso de la muestra y el volumen.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.4.2 Absorción

El ensayo de absorción se determinó según la NTP 400-022. Esta característica es necesaria para regular la cantidad de agua que se echará en la mezcla de concreto.

Este valor se obtuvo mediante el siguiente cociente:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{\text{Peso de la muestra SSS} - \text{Peso de la muestra seca al horno}}{\text{Peso de la muestra seca al horno}}$$

Los valores son obtenidos en el procedimiento del ensayo de peso específico.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.4.3 Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado

El ensayo de ensayo de peso unitario suelto y compactado se determinó según la NTP 400-017. Se define como el cociente del peso de las partículas y el volumen total incluyendo los vacíos.

Para el caso del peso unitario suelto el procedimiento consiste en:

- Se cuartea el material.
- Se llena el balde de metálico de 1/10 pie³ con el material cuarteado.
- Se enrasa.
- Se pesa.
- Luego se calcula el cociente del peso y el volumen del baldo metálico para obtener el peso unitario suelto.

En el caso del peso unitario compactado el procedimiento consiste en:

- Se cuartea el material.
- Se llena el balde de metálico de 1/10 pie³ con el material cuarteado en 3 capas compactadas con 25 golpes con una varilla lisa de 5/8"
- Se enrasa.
- Se pesa.
- Luego se calcula el cociente del peso y el volumen del baldo metálico para obtener el peso unitario compactado.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.4.4 Granulometría

El ensayo de granulometría se determinó según la NTP 400-012. Se define como la representación numérica de los tamaños de partículas. El procedimiento consiste en:

- Se pesa 500 gramos de muestra libre de impurezas.
- Se coloca la muestra en la maquina tamizadora.
- Se procede a encender la máquina para el zarandeo durante 2 minutos.
- Se pesa el material retenido en cada malla.

- Finalmente se grafica la curva granulométrica con los pesos obtenidos.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.4.5 Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se determinó según la NTP 400-022. Esta propiedad también influye en la cantidad de agua ha utilizar en la mezcla de concreto. El procedimiento consiste en:

- Se pesa 500 gramos de la muestra libre de impurezas.
- Se coloca en un recipiente y se pone al horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C.
- Se retira la muestra del horno y pesa.
- Finalmente se calcular la cantidad de humedad restando el peso inicial con el peso de la muestra secada al horno y para obtener el porcentaje, dicha resta se divide con el peso seco.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.4.6 Cantidad que pasa la malla N°200

Los límites para la cantidad de material que pasa la malla N°200 son:

Parámetros definidos: Máximo 5%

Casos especiales: Máximo 3%

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.5 ENSAYOS DEL AGREGADO GRUESO

3.5.1. Peso específico

El ensayo de ensayo de peso específico se determinó según la NTP 400-021. Se define como el cociente del peso de las partículas y el volumen libre de vacíos. El procedimiento consiste en:

- Se cuartea el material y se pesa 6 kilogramos, tener en cuenta que no debe usarse materiales que pasen la malla N°4.
- Se remoja dicha muestra en agua durante 24 horas.
- A las 24 horas se vacía el agua y se esparce la muestra en una superficie plana.
- Se deja secar y se comprueba si la muestra está saturada superficialmente seca, para ello se pasa franela para secar la superficie.
- Pesar 5 kilogramos de la muestra SSS.
- Se calibra la balanza hidrostática sin agua.
- Se pesa la canastilla sumergida en agua.
- Se coloca el material dentro de la canastilla y se pesa cuando esté totalmente sumergida.
- Verter agua hasta 500 cm³ y agitar el balón para eliminar los vacíos.
- Secar el material en el horno.
- Pesar la muestra totalmente seca.
- Finalmente se calcula el cociente del peso de la muestra y el volumen.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.5.2 Absorción

El ensayo de ensayo de absorción se determinó según la NTP 400-021. Esta característica es necesaria para regular la cantidad de agua que se echará en la mezcla de concreto.

Este valor se obtuvo mediante el siguiente cociente:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{\text{Peso de la muestra SSS} - \text{Peso de la muestra seca al horno}}{\text{Peso de la muestra seca al horno}}$$

Los valores son obtenidos en el procedimiento del ensayo de peso específico.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.5.3 Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado

El ensayo de ensayo de peso unitario suelto y compactado se determinó según la NTP 400-017. Se define como el cociente del peso de las partículas y el volumen total incluyendo los vacíos.

Para el caso del peso unitario suelto el procedimiento consiste en:

- Se cuartea el material.
- Se llena el balde de metálico de 1/2 pie³ con el material cuarteado.
- Se enrasa.
- Se pesa.
- Luego se calcula el cociente del peso y el volumen del baldo metálico para obtener el peso unitario suelto.

En el caso del peso unitario compactado el procedimiento consiste en:

- Se cuartea el material.
- Se llena el balde de metálico de 1/2 pie³ con el material cuarteado en 3 capas compactadas con 25 golpes con una varilla lisa de 5/8"
- Se enrasa.
- Se pesa.
- Luego se calcula el cociente del peso y el volumen del baldo metálico para obtener el peso unitario compactado.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.5.4 Granulometría

El ensayo de granulometría se determinó según la NTP 400-012. Se define como la representación numérica de los tamaños de partículas.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.5.5 Modulo de Fineza

Se define como la suma de los porcentajes acumulativos hasta la malla N°100 y se divide entre 100. El procedimiento de ensayo consiste en:

- Se pesa 10 kilogramos de muestra.
- Zarandear la muestra durante 2 minutos.
- Pesar el material retenido en cada malla.
- Finalmente se obtienen los porcentajes acumulativos para graficar la curva granulométrica.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

3.5.6 Contenido de Humedad

El ensayo de Contenido de Humedad se determinó según la NTP 400-022. Esta propiedad también influye en la cantidad de agua a utilizar en la mezcla de concreto. El procedimiento consiste en:

- Se pesa 1000 gramos de la muestra libre de impurezas.
- Se coloca en un recipiente y se pone al horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C.
- Se retira la muestra del horno y pesa.
- Finalmente se calcula la cantidad de humedad restando el peso inicial con el peso de la muestra secada al horno y para obtener el porcentaje, dicha resta se divide con el peso seco.

En los Anexos se muestra el informe del LEM FIC-UNI de los agregados utilizados en la presente tesis.

CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR CORROSIÓN ACELERADA

4.1 METODO DE ENSAYO

La presente tesis se basa en el ensayo de corrosión acelerada por humedecimiento, secado y pesado de las probetas de concreto. Este método fue desarrollado por el Ing. José Luis Díaz Lazo en su tesis “Corrosión del cemento por ataque del sulfato” presentada en el año 1994 en la FIC – UNI.

La presente tesis consistió en fabricar probetas de 4” de diámetro y 8” de altura en concreto simple y concreto armado introduciendo una varilla de 3/8” de diámetro y 10cm de longitud al eje de las probetas, luego del proceso de curado se procedió con el ensayo de corrosión acelerada.

La dosificación de las probetas de concreto simple y armado fueron de a/c: 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70.

4.2 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE EL ENSAYO

En este ensayo se utilizaron probetas de concreto simple y armado para las cuales se necesitó lo siguiente:

- Cemento Portland Tipo I marca Sol
- Arena gruesa
- Piedra chancada de 1/2”
- Agua potable
- Varillas de fierro de 3/8” de diámetro
- Moldes metálicos de 4” de diámetro y 8” de altura
- Mezcladora

Luego de la obtención de probetas se procedió con el curado, en donde se necesitó lo siguiente:

- Agua potable
- Tinajas de plástico de 100 L
- Probetas de concreto simple y armado

Finalmente, para el ensayo de corrosión acelerada se necesitó lo siguiente:

- Cloruro Férrico en solución al 42%
- Tinajas de plástico de 100 L
- Plástico azul

- Lentes, guantes, respiradores y mandil
- Balanza electrónica de capacidad máxima 25 kg y de sensibilidad 5 gramos
- Probetas de concreto simple y armado

4.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CORROSIÓN

El ensayo tiene como primer paso secar las muestras a temperatura de ambiente durante 24 horas, al finalizar se registró el peso siendo éste el peso inicial de las muestras. Luego de ello, se procedió a sumergir las muestras durante 24 horas en la solución de Cloruro Férrico y posteriormente fueron secadas durante 24 horas a temperatura de ambiente, al finalizar se registró el peso siendo éste el peso de un ciclo. La duración de un ciclo fue de 48 horas, en total se realizó 30 ciclos que dan 1440 horas o 60 días.

A continuación, se muestra un breve resumen del ensayo:

- Secado de las muestras a temperatura de ambiente durante 24 horas
- Pesado de las muestras (peso inicial)
- Inmersión de las muestras en la solución durante 24 horas
- Secado de las muestras a temperatura de ambiente durante 24 horas
- Pesado de las muestras (peso del ciclo 1)
- Inmersión de las muestras en la solución durante 24 horas
- Secado de las muestras a temperatura de ambiente durante 24 horas
- Pesado de las muestras (peso del ciclo 2)
- Inmersión de las muestras en la solución durante 24 horas
- Secado de las muestras a temperatura de ambiente durante 24 horas
- Pesado de las muestras (peso del ciclo 3)
- Inmersión de las muestras en la solución durante 24 horas
- Secado de las muestras a temperatura de ambiente durante 24 horas
- Pesado de las muestras (peso del ciclo 4)
- Así sucesivamente hasta completar el ciclo número 30 y obtener el peso de las muestras en el ciclo 30

Foto 1. Pesado de muestras



Fuente: Elaboración propia

Además de la inmersión de las probetas de concreto simple y armado, también se procedió con la inmersión de 01 varilla de fierro de 3/8" de diámetro y 50cm de largo durante 03 días para luego realizar el ensayo de tracción.

CAPÍTULO V. RESULTADOS DEL ENSAYO

En el presente capítulo, mostraremos los resultados del ensayo por corrosión acelerada que fueron sometidas las muestras de concreto simple y armado para las relaciones agua/cemento: 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70. Estos resultados serán mostrados en tablas (ver anexo) y gráficos.

5.1 GRÁFICO DE PESO VS CICLOS DE ENSAYO

Este gráfico ha sido elaborado con los pesos, en gramos, respecto cada ciclo de ensayo. Los gráficos fueron separados según la relación agua/cemento.

Gráfico 8: curva de concreto simple, a/c:0.45

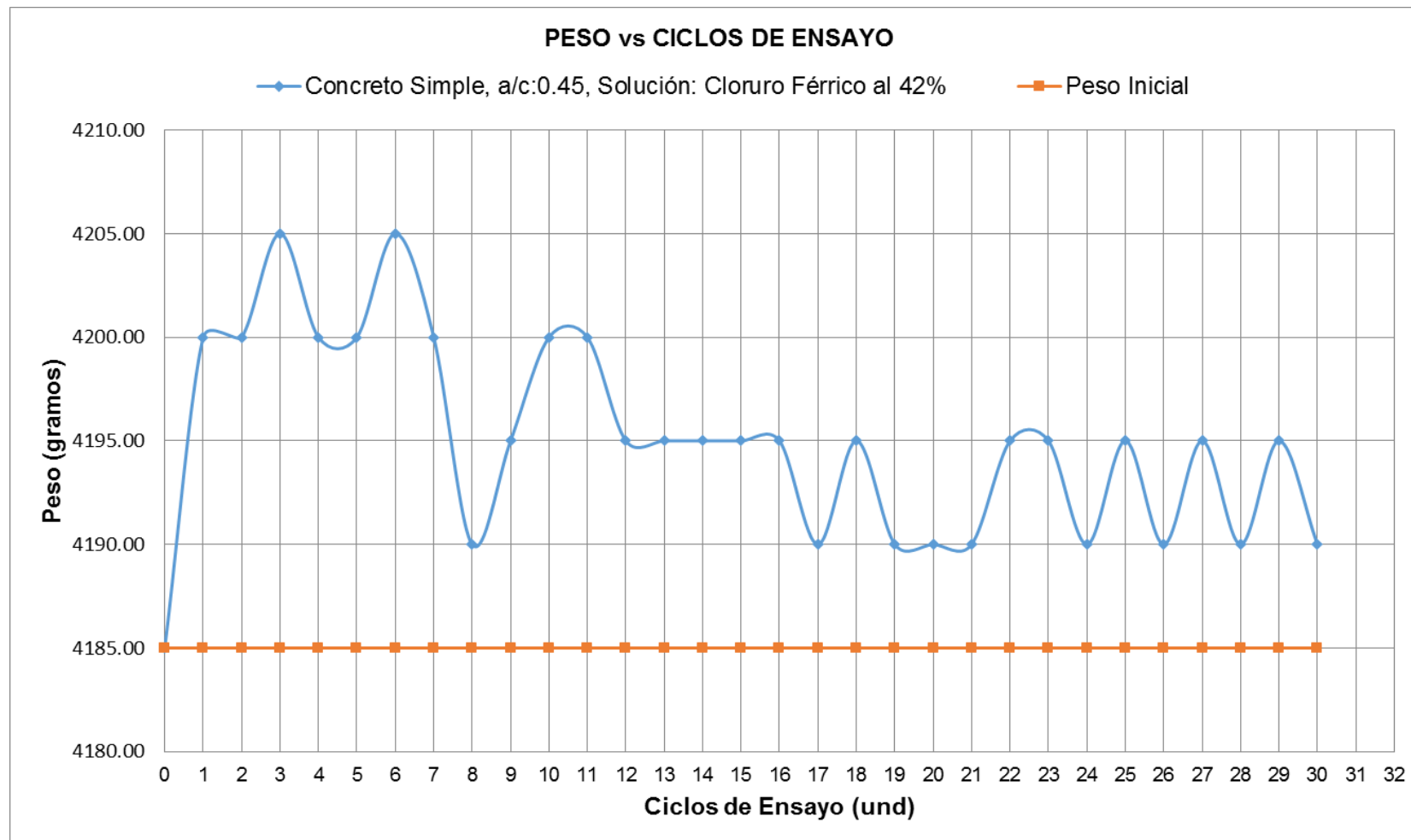


Gráfico 9: curva de concreto simple, a/c:0.50

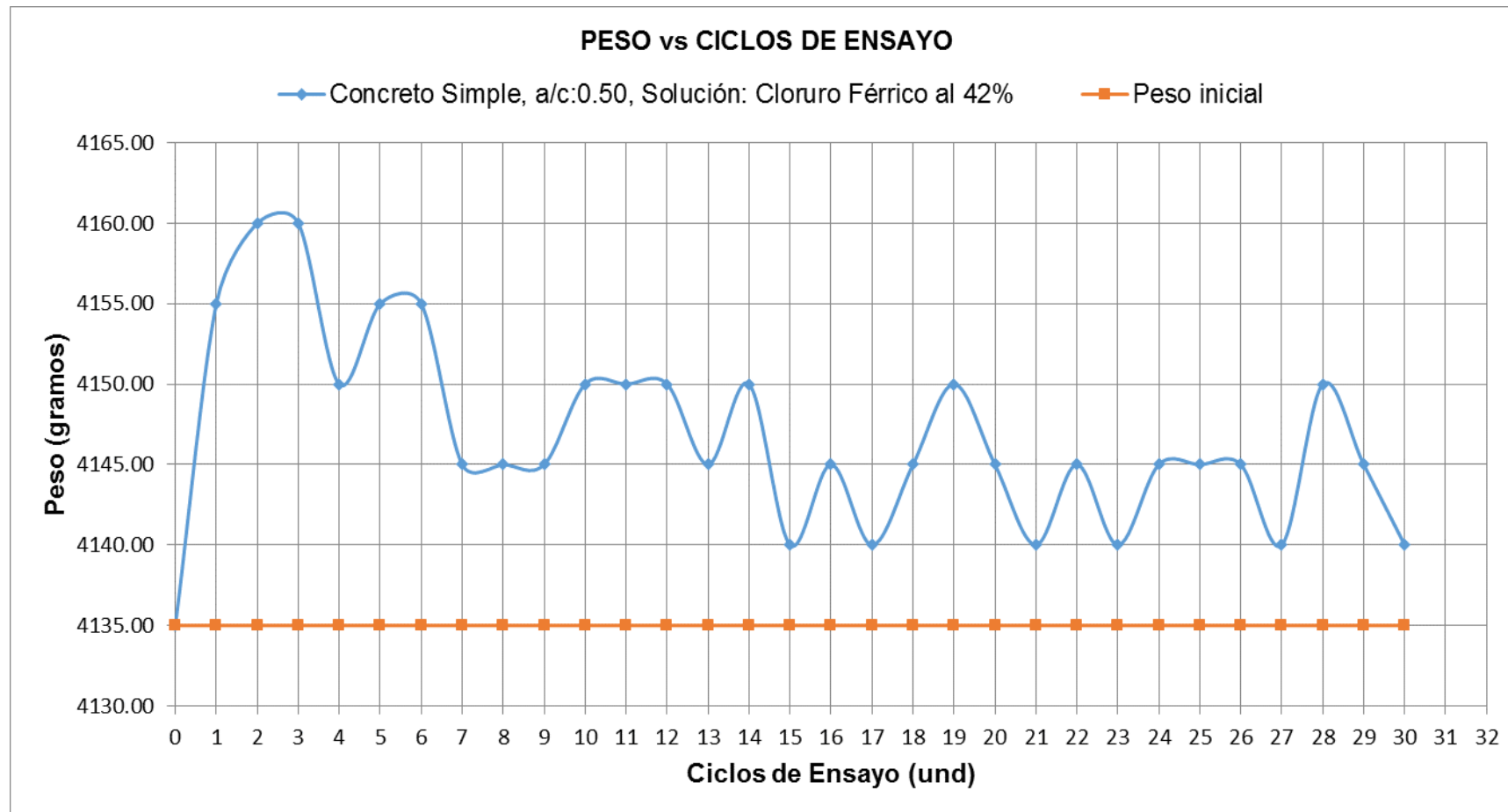


Gráfico 10: curva de concreto simple, a/c:0.60

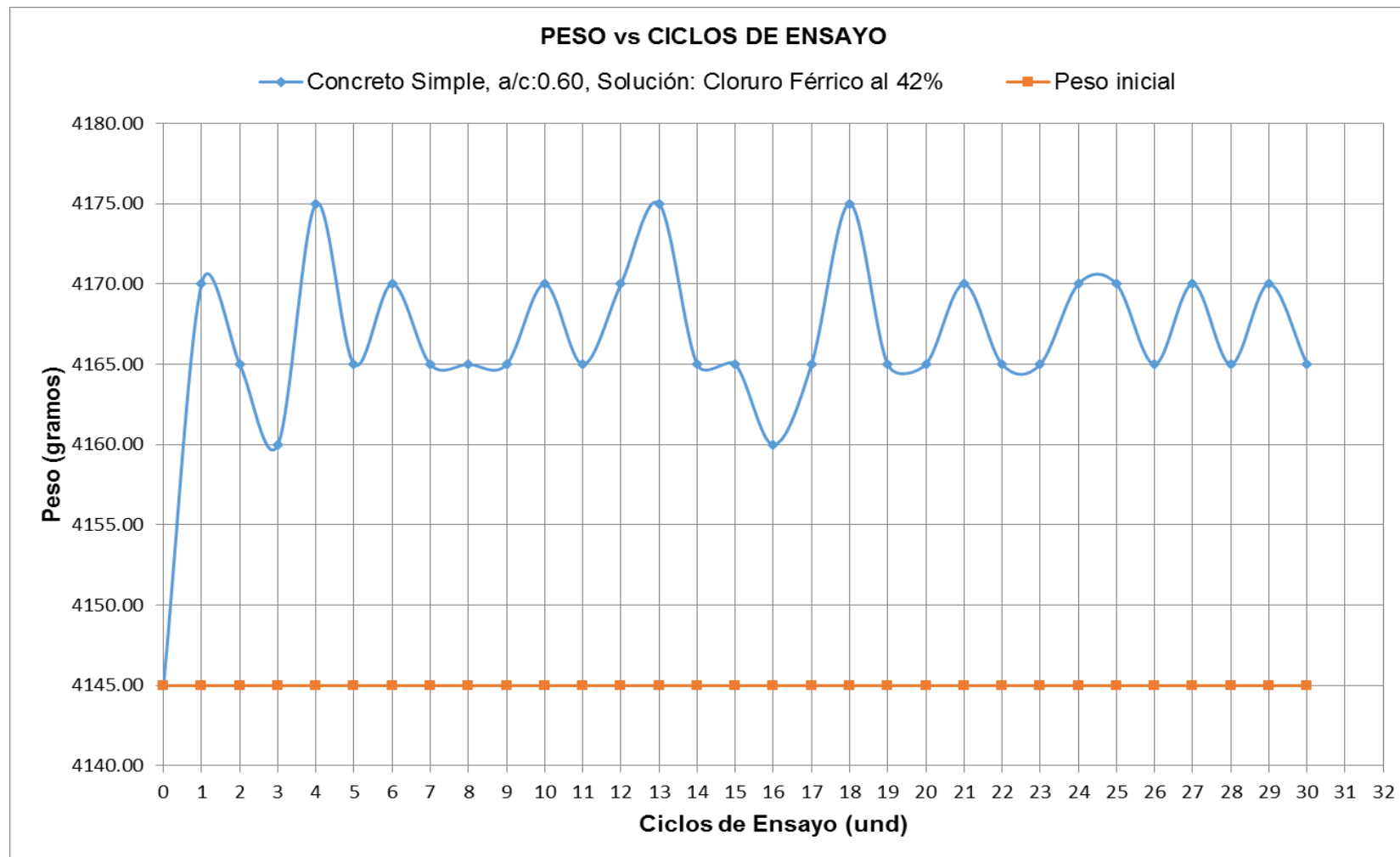


Gráfico 11: curva de concreto simple, a/c:0.70

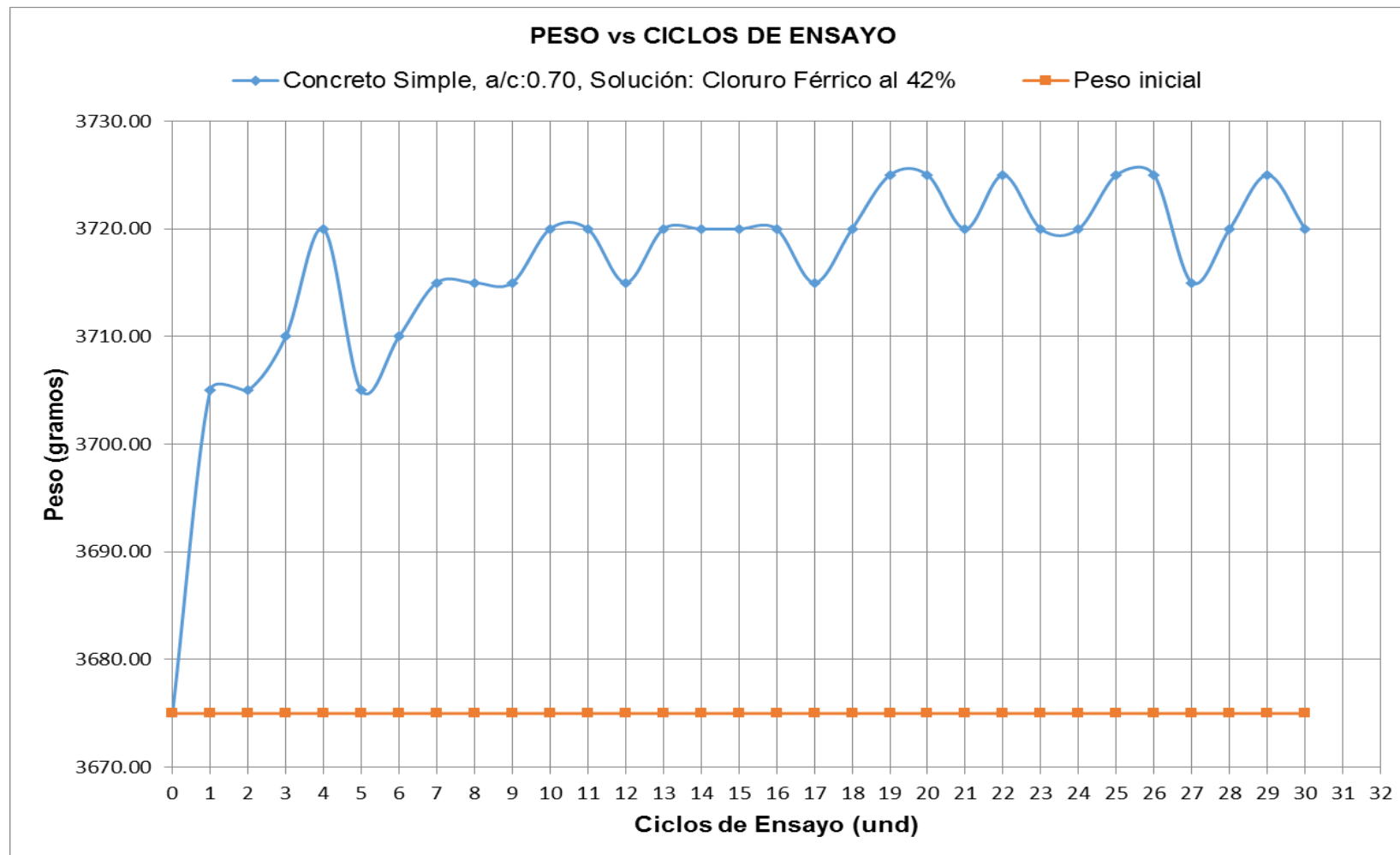


Gráfico 12: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.45

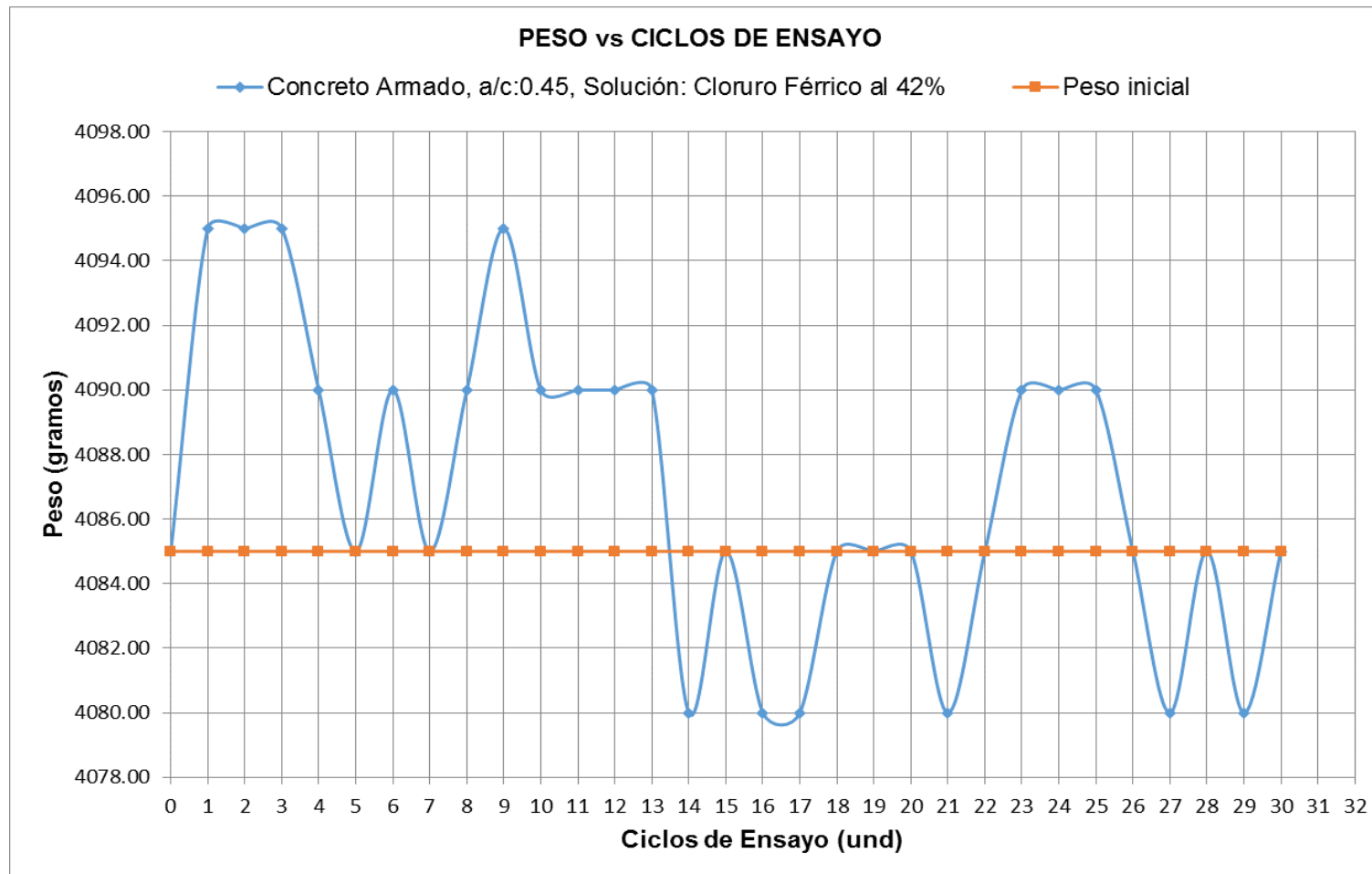


Gráfico 13: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.50

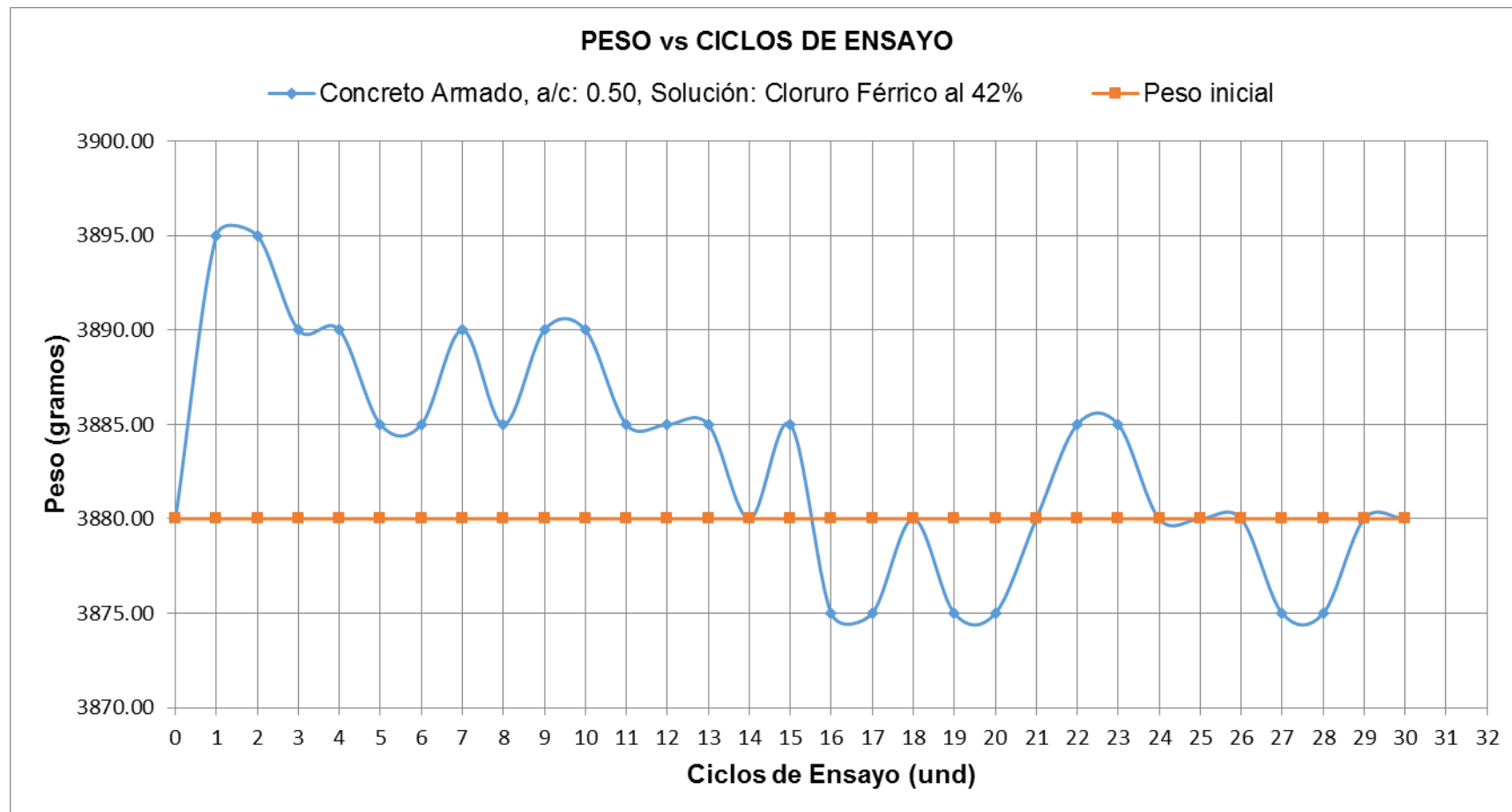


Gráfico 14: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.60

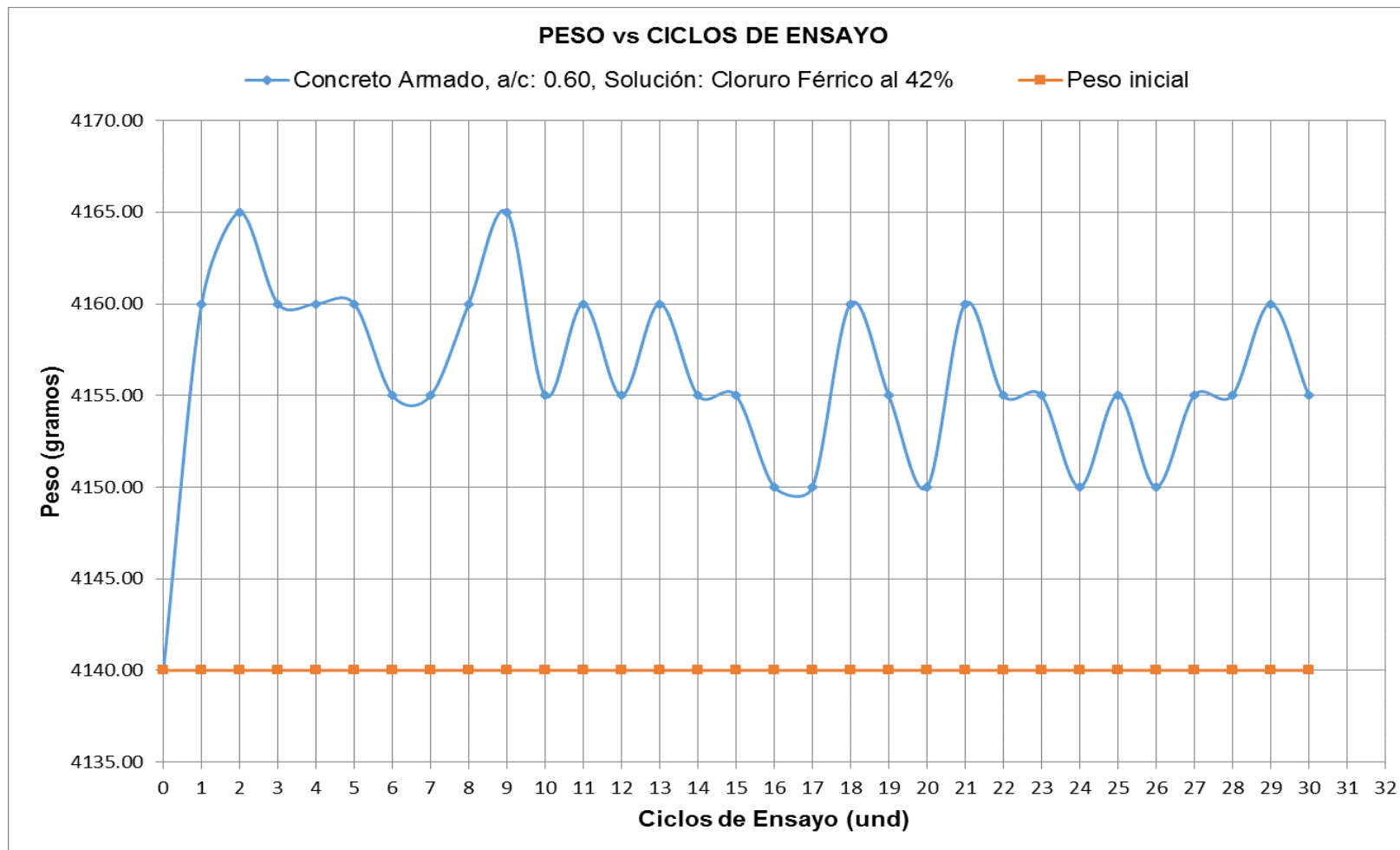
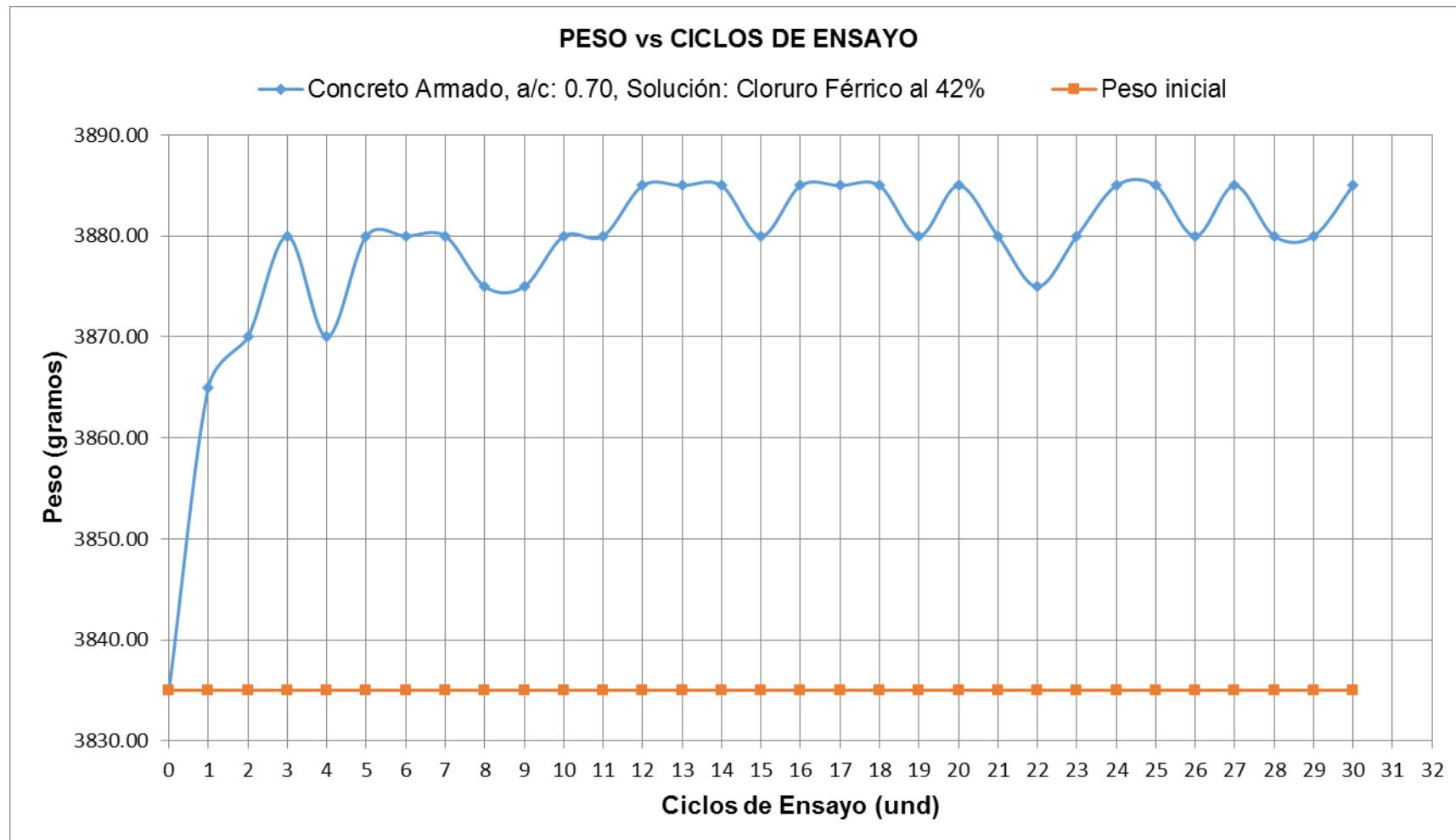


Gráfico 15: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.70



5.2 GRÁFICO DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO VS CICLOS DE ENSAYO

Este gráfico ha sido elaborado con la variación de pesos, en porcentaje, respecto cada ciclo de ensayo. Los gráficos fueron separados según la relación agua/cemento:

Gráfico 16: curva de concreto simple, a/c:0.45

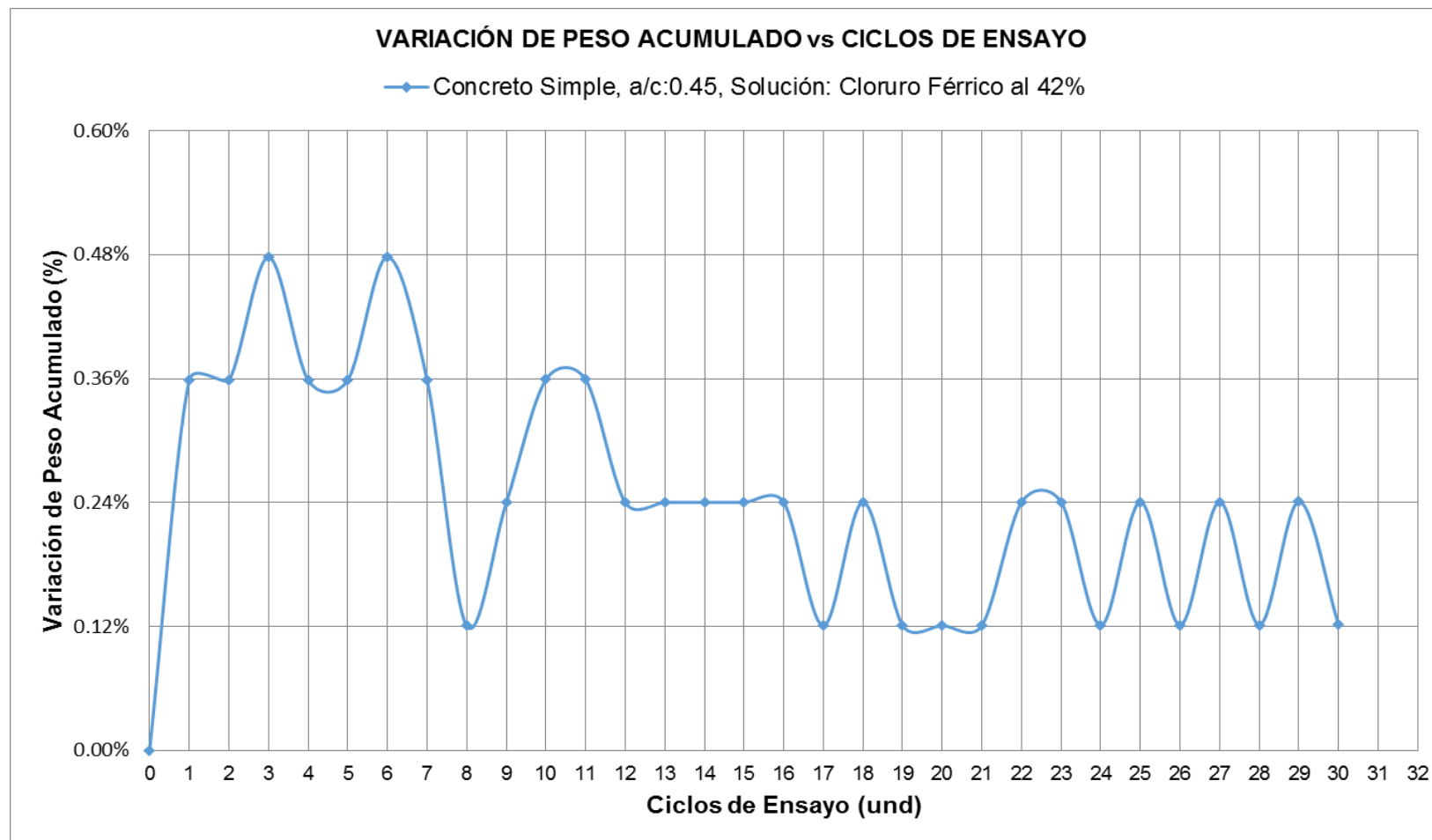


Gráfico 17: curva de concreto simple, a/c:0.50

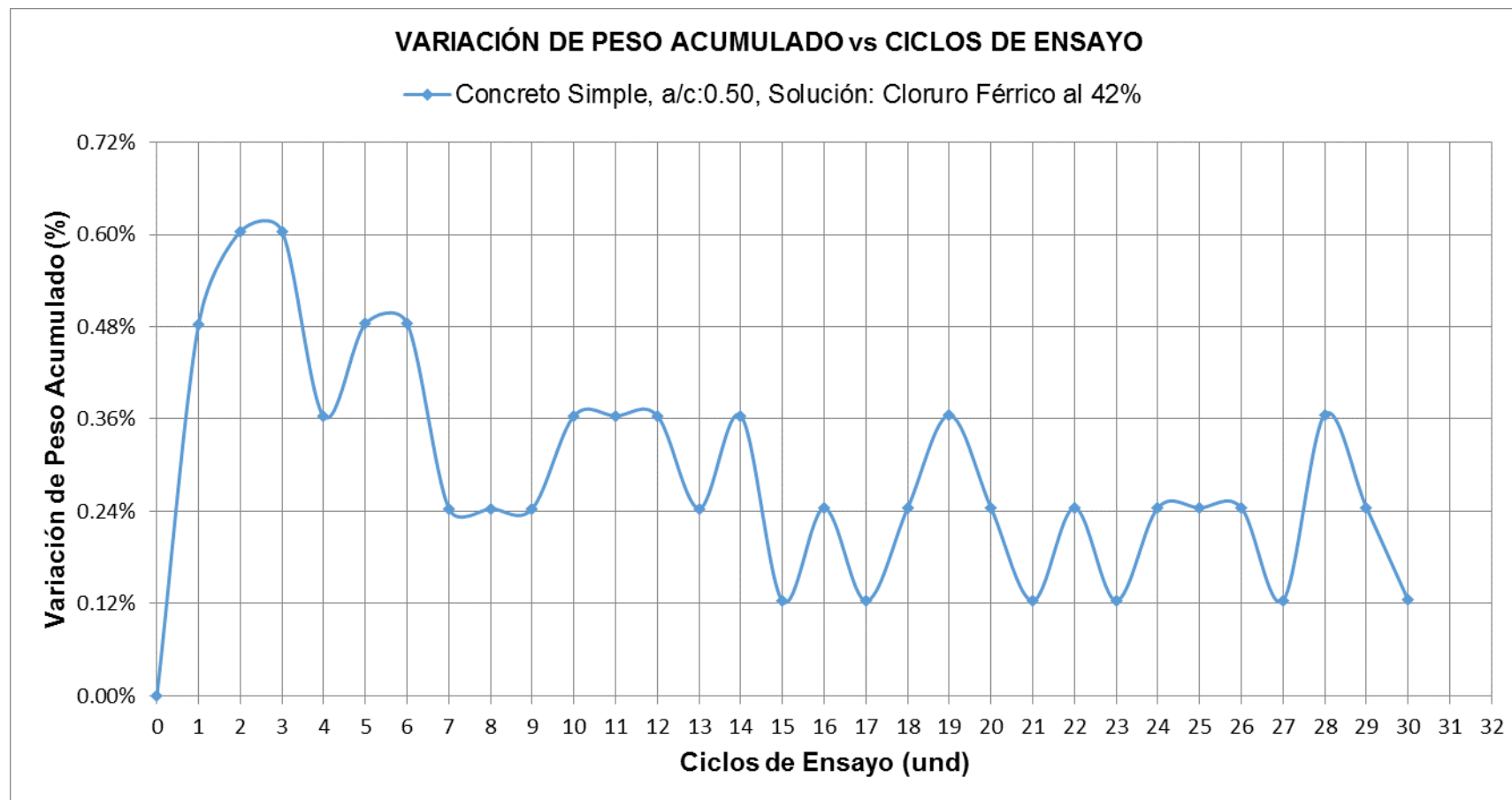


Gráfico 18: curva de concreto simple, a/c:0.60

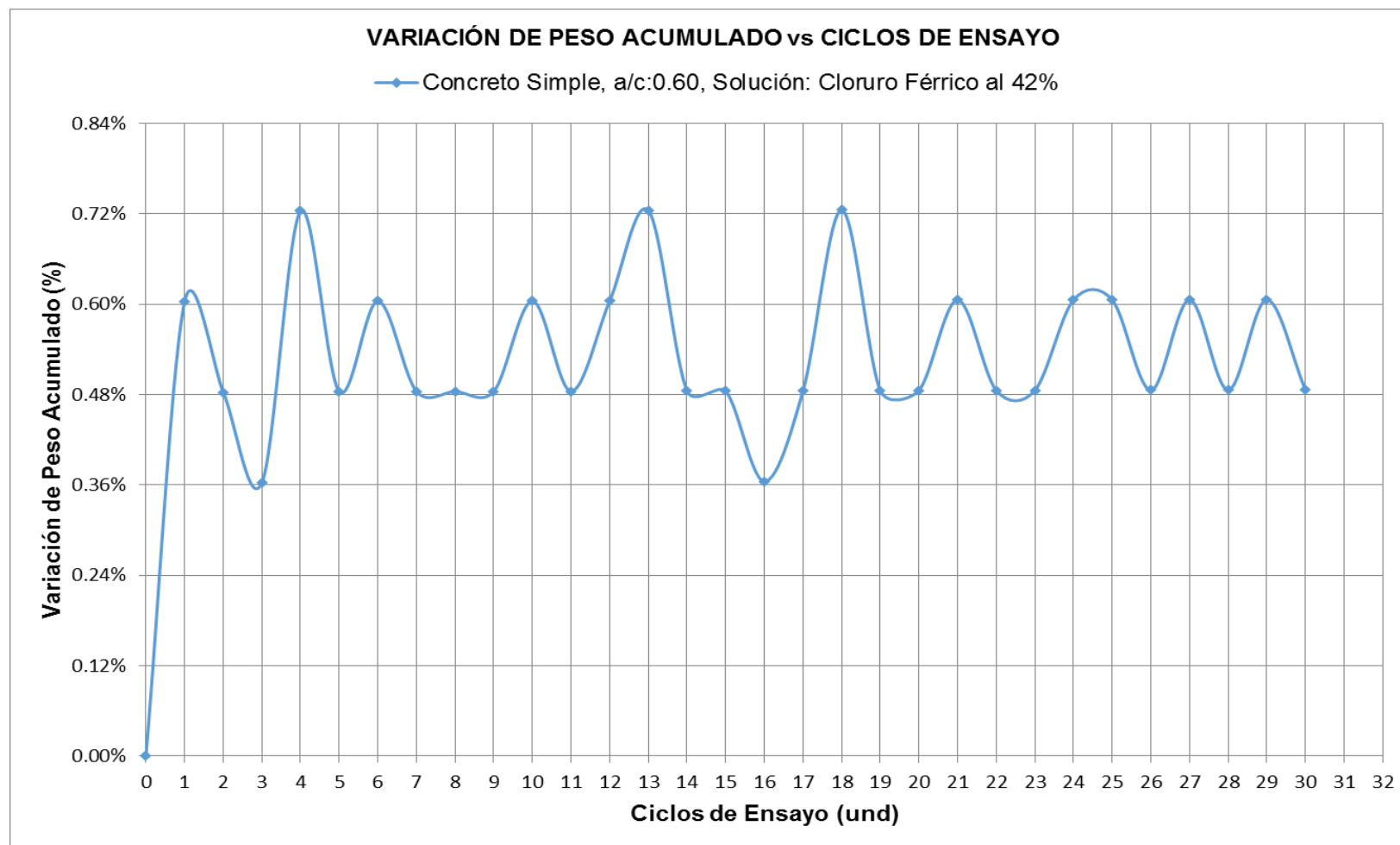


Gráfico 19: curva de concreto simple, a/c:0.70

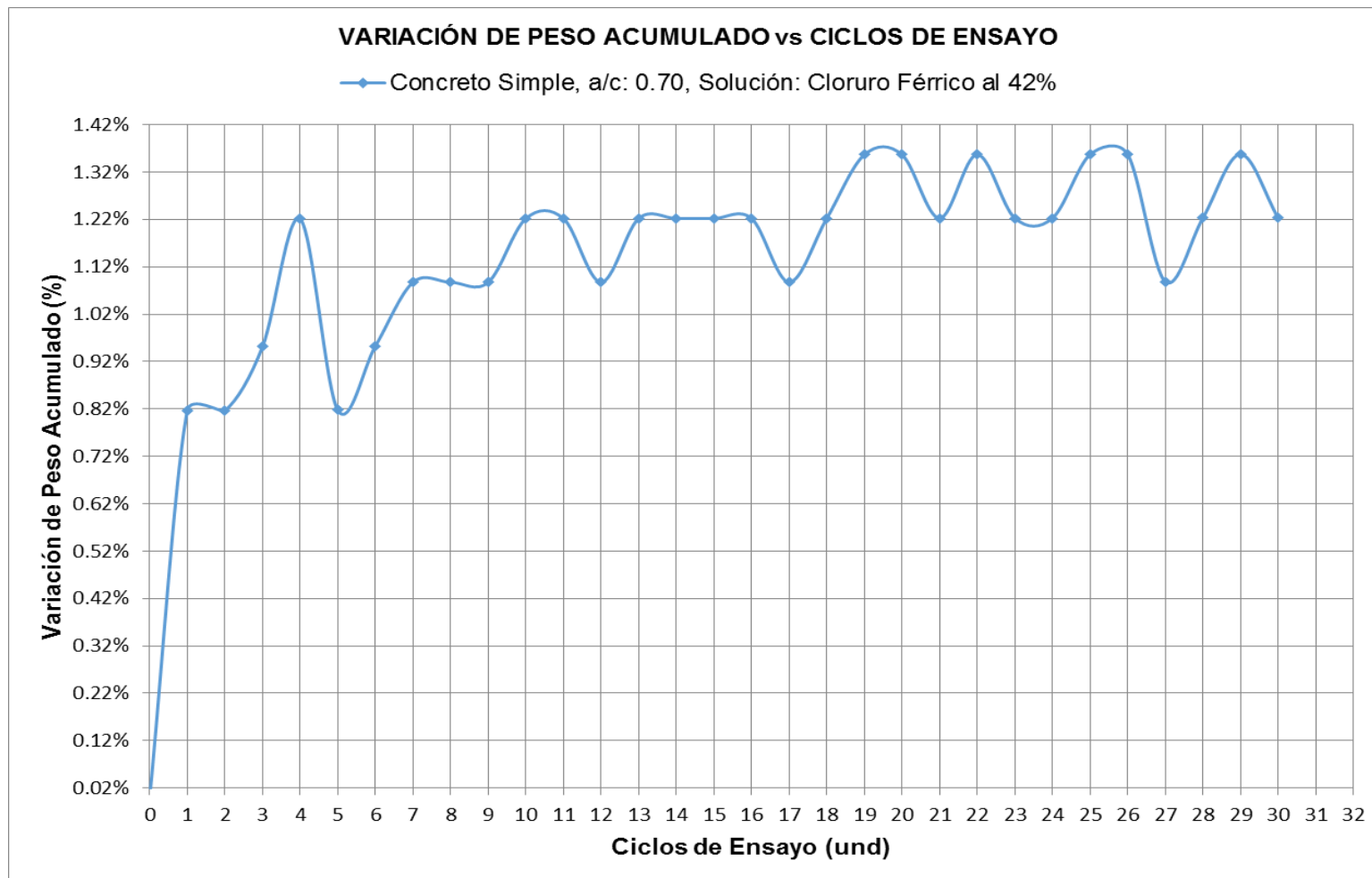


Gráfico 20: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c:0.45

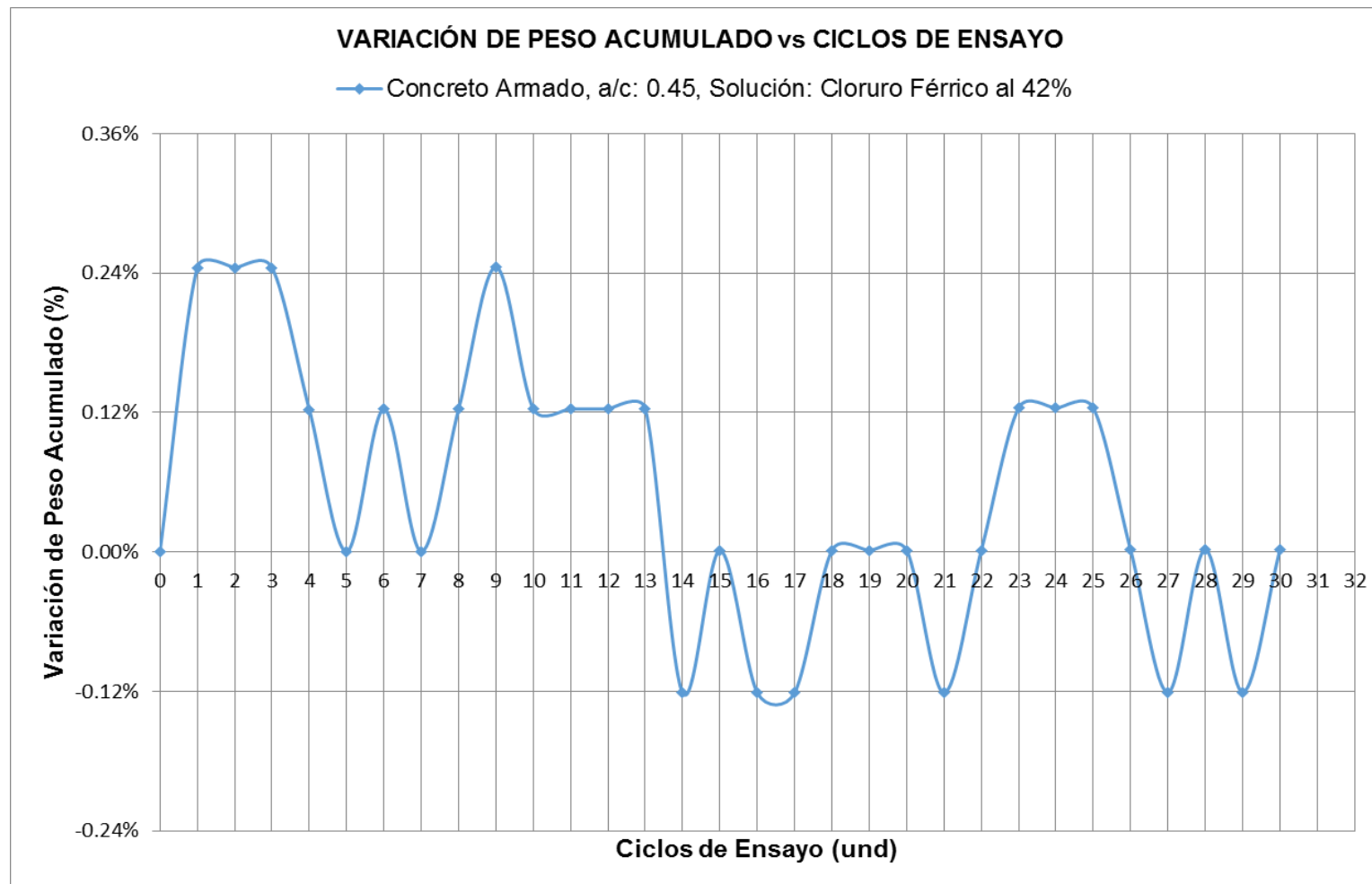


Gráfico 21: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c: 0.50

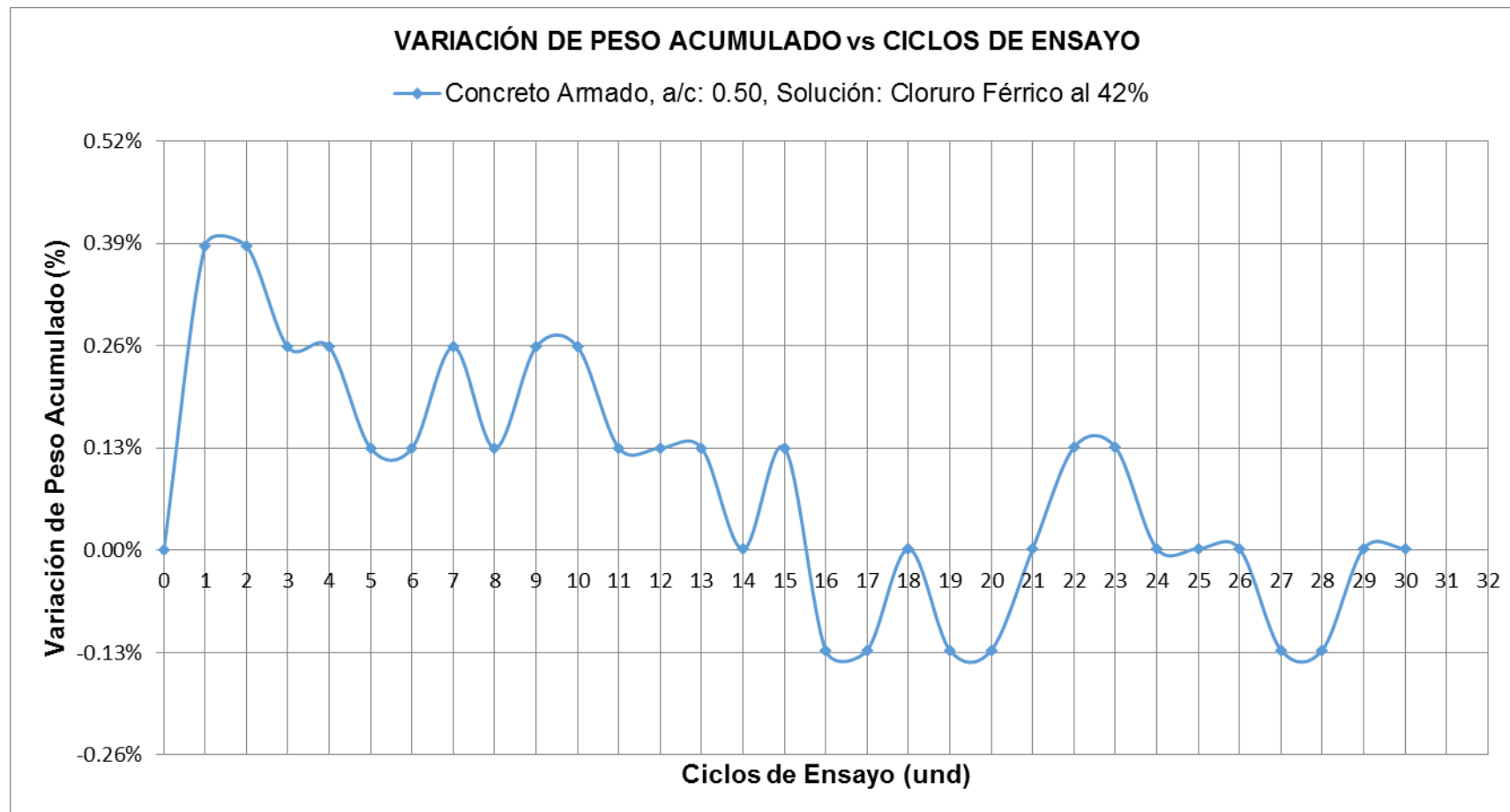


Gráfico 22: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c: 0.60

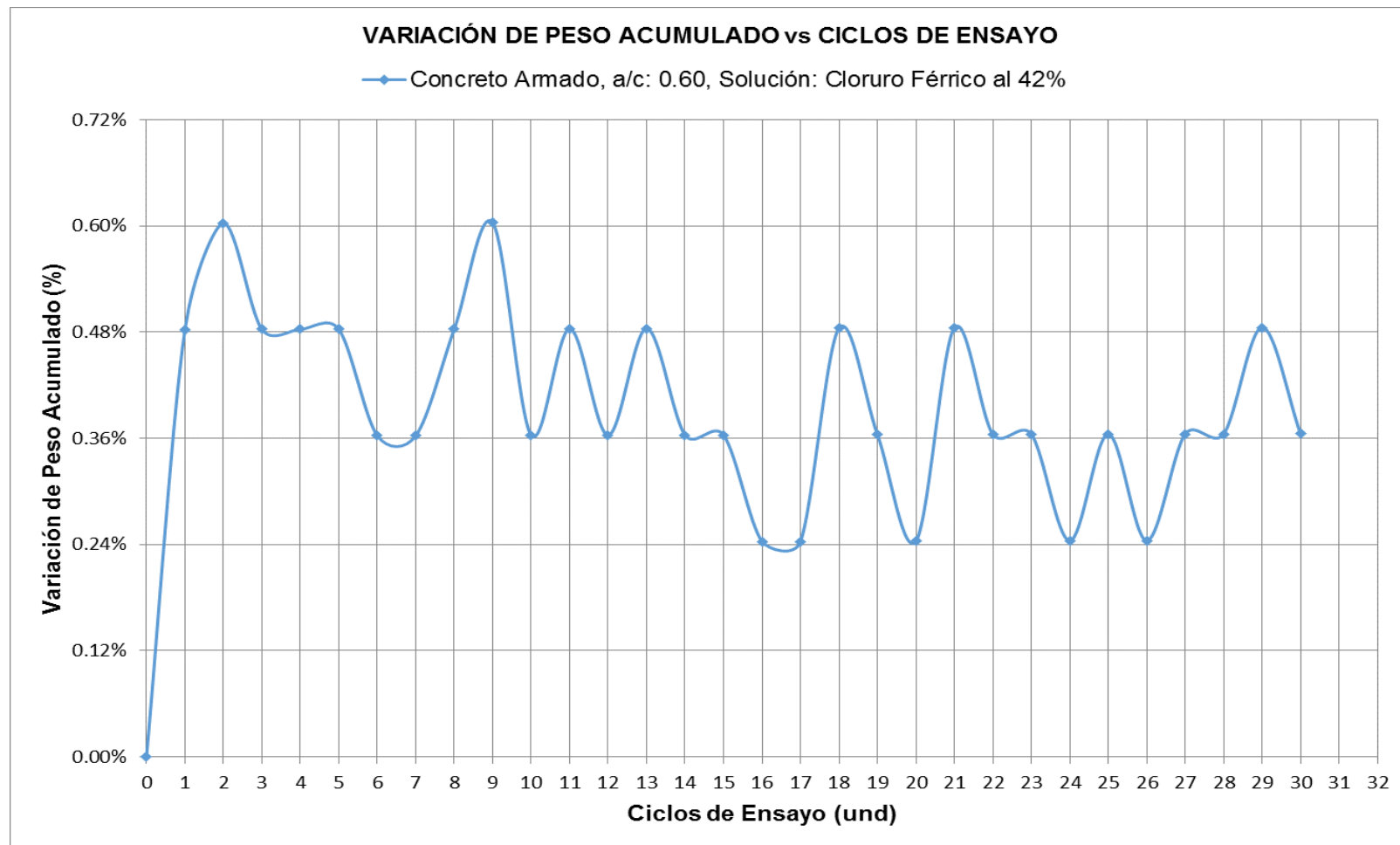
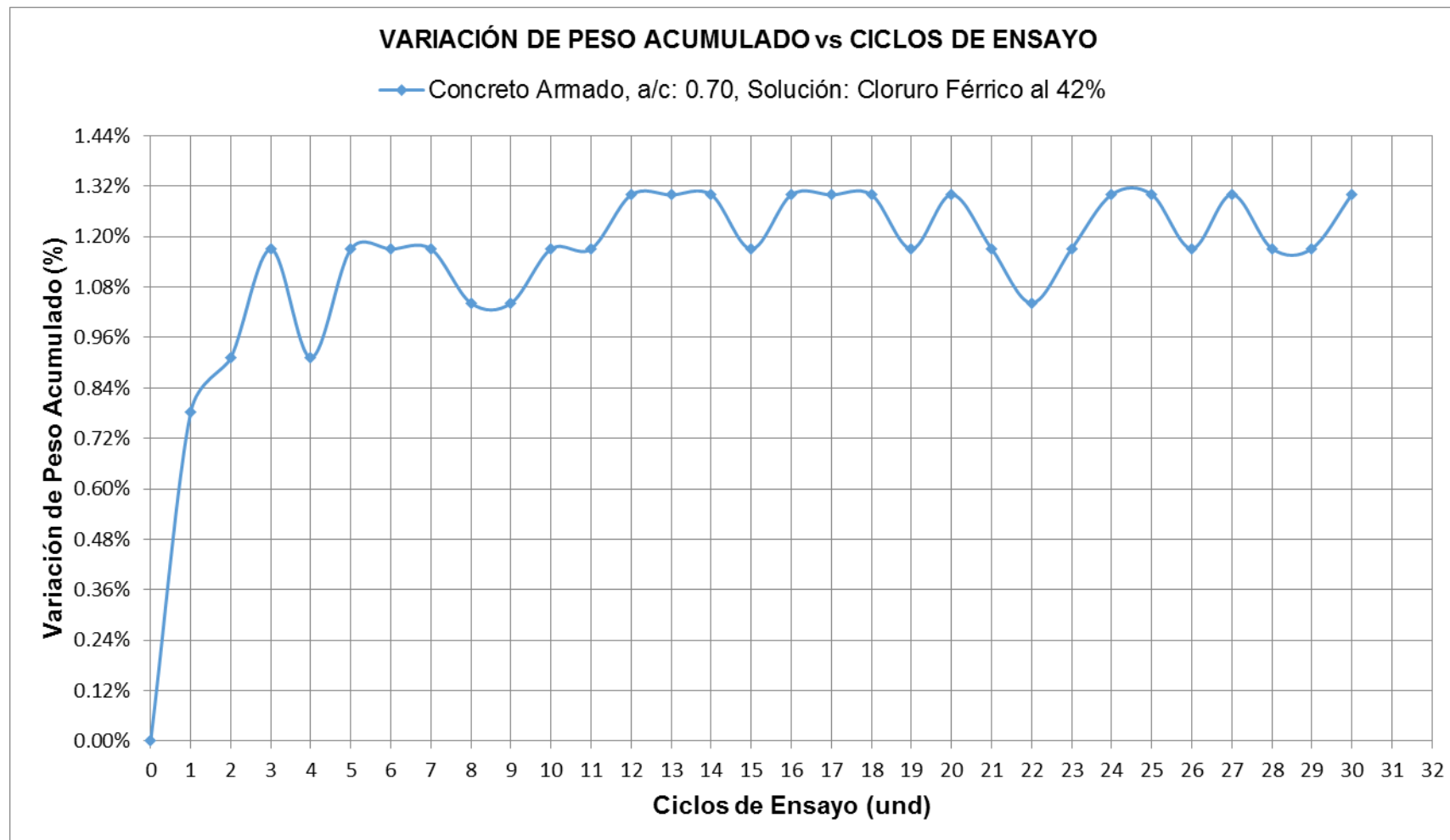


Gráfico 23: curva de concreto armado, una varilla de acero 3/8" de 10cm al eje, a/c: 0.70



5.3 ASPECTOS FÍSICOS DE LAS MUESTRAS

Luego de realizar el ensayo de corrosión acelerada se presentaron cambios físicos en todas las muestras. A continuación, se describirán los aspectos físicos:

Muestras de concreto simple y armado de relación a/c: 0.45. Ver foto n°1 y 2.

- Muestras de color rojo cobrizo
- Picaduras de 2 mm de diámetro y 1cm de profundidad
- Fisuras longitudinales de 8 cm de largo en promedio

Foto 2. Picaduras en muestras ensayadas



Foto 3. Picaduras y fisuras longitudinales



Muestras de concreto simple y armado de relación a/c: 0.50. Ver foto n°3 y 4.

- Muestras de color rojo cobrizo
- Picaduras de 2 mm de diámetro y 1cm de profundidad
- Fisuras longitudinales de 8 cm de largo en promedio

Foto 4. Agrietamiento en muestras



Foto 5. Grietas irregulares



Muestras de concreto simple y armado de relación a/c: 0.60. Ver foto n°5 y 6.

- Muestras de color rojo cobrizo
- Picaduras de 2 mm de diámetro y 1cm de profundidad
- Fisuras longitudinales de 8 cm de largo en promedio
- Desprendimiento de bordes

Foto 6. Bordes desprendidos en muestras ensayadas



Foto 7. Superficie desprendida en muestras ensayadas



Muestras de concreto simple y armado de relación a/c: 0.70. Ver foto n°7 y 8

- Muestras de color rojo cobrizo
- Picaduras de 2 mm de diámetro y 1cm de profundidad
- Fisuras longitudinales de 8 cm de largo en promedio
- Desprendimiento de borde

Foto 8. Desprendimiento de capa superficial.



Foto 9. Grietas e hinchazón en bordes.



5.4 VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Luego de realizar el ensayo de corrosión acelerada se procedió con la rotura de diez probetas por cada relación de a/c para compararlas con los valores iniciales de resistencia a la compresión de las probetas sanas (sin proceso de corrosión acelerada). A continuación, se muestran los valores promedios, para ver todos los valores ver el informe del Laboratorio de Ensayos de Materiales de Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería en Anexos.

Relación a/c: 0.50:

Valor promedio de Resistencia a la compresión de las muestras sanas (sin proceso de corrosión acelerada): 429 kg/cm²

Valor promedio de Resistencia a la compresión de las muestras sometidas a corrosión acelerada: 397 kg/cm²

Relación a/c: 0.60:

Valor promedio de Resistencia a la compresión de las muestras sanas (sin proceso de corrosión acelerada): 362 kg/cm²

Valor promedio de Resistencia a la compresión de las muestras sometidas a corrosión acelerada: 337 kg/cm²

Relación a/c: 0.70:

Valor promedio de Resistencia a la compresión de las muestras sanas (sin proceso de corrosión acelerada): 301 kg/cm²

Valor promedio de Resistencia a la compresión de las muestras sometidas a corrosión acelerada: 289 kg/cm²

5.4 VALORES DEL ENSAYO A TRACCIÓN EN LAS VARILLAS DE ACERO

Luego de sumergir por 03 días en Cloruro Férrico la varilla de 3/8", se procedió con el ensayo a tracción para comparar la tensión límite de fluencia antes y después de la sumersión.

Varilla de 3/8":

Valor de tensión límite de fluencia F_y antes de la sumersión: 4600 kg/cm²

Valor de tensión límite de fluencia F_y después de la sumersión: 3470 kg/cm²

En Anexos se muestra el informe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Luego de realizar el ensayo de corrosión acelerada durante 30 ciclos, explicado en el capítulo IV, para muestras de concreto simple y concreto armado (con una varilla de 10cm de 3/8" al eje) en relaciones a/c: 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70 remojadas en Solución de Cloruro Férrico al 42%, se procederá con el análisis de los resultados mostrados en el capítulo V.

6.1 MÁXIMO VALOR DEL PESO

Del gráfico 1 al gráfico 8, se observa que para las cuatro relaciones agua/cemento de concreto simple y armado el peso aumenta y disminuye con el pasar de los ciclos. Inicialmente el cloruro férrico ingresa a los poros capilares (esto produce el aumento del peso) para luego adherirse a la superficie de la probeta, finalmente se produce pérdida de humedad (esto produce la disminución de peso). Este proceso se da de manera repetitiva, ya que al remojar por 24 horas permitimos el paso del cloruro férrico a los poros capilares y al secar por 24 horas permitimos que haya pérdida de humedad.

Sin embargo, es importante identificar en qué ciclo/ciclos se produce el máximo valor del peso, del gráfico 1 al gráfico 8 obtuvo en qué número de ciclo o ciclos se da el máximo valor de peso tal como se indica a continuación:

- **Concreto Simple, a/c: 0.45**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 3 y ciclo 6.
- **Concreto Simple, a/c: 0.50**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 2 y ciclo 3.
- **Concreto Simple, a/c: 0.60**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 4, ciclo 13 y ciclo 18.
- **Concreto Simple, a/c: 0.70**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 19, ciclo 20, ciclo 22, ciclo 25, ciclo 26 y ciclo 29.
- **Concreto Armado, a/c: 0.45**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 1, ciclo 2, ciclo 3 y ciclo 9.
- **Concreto Armado, a/c: 0.50**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 1 y ciclo 2.
- **Concreto Armado, a/c: 0.60**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 2 y ciclo 9.

- **Concreto Armado, a/c: 0.70**, el máximo valor de peso ocurrió en el ciclo 12, ciclo 13, ciclo 14, ciclo 16, ciclo 17, ciclo 18, ciclo 20, ciclo 24, ciclo 25, ciclo 27 y ciclo 30.

Se observa que para todas las muestras de concreto simple y concreto armado en todas sus relaciones agua/cemento los máximos valores del peso aparecen en más de una vez, siendo la muestra de relación agua/cemento: 0.70, para el concreto simple y concreto armado, la que presenta mayores apariciones del máximo valor del peso.

6.2 MÍNIMO VALOR DEL PESO

Del gráfico 1 al gráfico 8, se observa que para las cuatro relaciones agua/cemento de concreto simple y armado el peso aumenta y disminuye con el pasar de los ciclos. Inicialmente el cloruro férrico ingresa a los poros capilares (esto produce el aumento del peso) para luego adherirse a la superficie de la probeta, finalmente se produce pérdida de humedad (esto produce la disminución de peso). Este proceso se da de manera repetitiva, ya que al remojar por 24 horas permitimos el paso del cloruro férrico a los poros capilares y al secar por 24 horas permitimos que haya pérdida de humedad.

Sin embargo, es importante identificar en qué ciclo/ciclos se produce el mínimo valor del peso, del gráfico 1 al gráfico 8 obtuvo en qué número de ciclo o ciclos se da el mínimo valor de peso tal como se indica a continuación:

- **Concreto Simple, a/c: 0.45**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 8, ciclo 17, ciclo 19, ciclo 20, ciclo 21, ciclo 24, ciclo 26, ciclo 28 y ciclo 30.
- **Concreto Simple, a/c: 0.50**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 15, ciclo 17, ciclo 21, ciclo 23, ciclo 27 y ciclo 30.
- **Concreto Simple, a/c: 0.60**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 3 y ciclo 16.
- **Concreto Simple, a/c: 0.70**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 1, ciclo 2 y ciclo 5.
- **Concreto Armado, a/c: 0.45**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 14, ciclo 16, ciclo 17, ciclo 21, ciclo 27 y ciclo 29.
- **Concreto Armado, a/c: 0.50**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 16, ciclo 17, ciclo 19, ciclo 20, ciclo 27 y ciclo 28.

- **Concreto Armado, a/c: 0.60**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 16, ciclo 17, ciclo 20, ciclo 24 y ciclo 26.
- **Concreto Armado, a/c: 0.70**, el mínimo valor de peso ocurrió en el ciclo 1.

Se observa que en la mayoría de las muestras de concreto simple y concreto armado en todas sus relaciones agua/cemento los mínimos valores del peso aparecen en más de una vez, siendo la muestra de relación agua/cemento: 0.45, para el concreto simple y concreto armado, la que presenta mayores apariciones del mínimo valor del peso.

6.3 MÁXIMOS Y MÍNIMOS VALORES DEL PESO

De los gráficos del 1 al 8, se obtuvo valor del máximo y mínimo peso tal como se muestra en el siguiente resumen:

Tabla 1: Máximos y mínimos valores del peso

	Relación a/c	Valores del peso		Variación (gr)
		Máximo (gr)	Mínimo (gr)	
Concreto Simple	0.45	4205.0	4190.0	15.0
	0.50	4160.0	4140.0	20.0
	0.60	4175.0	4160.0	15.0
	0.70	3725.0	3705.0	20.0
Concreto Armado	0.45	4095.0	4080.0	15.0
	0.50	3895.0	3875.0	20.0
	0.60	4165.0	4150.0	15.0
	0.70	3885.0	3865.0	20.0

Fuente: Elaboración Propia

6.4 VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO

Del gráfico 9, concreto simple, a/c: 0.45, se observa el aumento del peso hasta el ciclo 6 alcanzando el máximo valor de 0.48% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta. A partir del ciclo 6, se observa la disminución y posterior oscilación de variación de peso,

alcanzando mínimo valor de 0.12% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 10, concreto simple, a/c: 0.50, se observa el aumento del peso hasta el ciclo 3 alcanzando el máximo valor de 0.60% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta. A partir del ciclo 3, se observa la disminución y posterior oscilación de variación de peso, alcanzando mínimo valor de 0.12% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 11, concreto simple, a/c: 0.60, se observa la variación de peso acumulado alcanzando el mínimo valor de 0.36% de variación de peso acumulado en el ciclo 3 y 16, y el máximo valor de 0.72% de variación de peso acumulado en varias oportunidades, siendo el ciclo más tardío el ciclo 18, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta. A partir del ciclo 18, se observa la disminución y posterior oscilación de variación de peso hasta el ciclo 30, este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 12, concreto simple, a/c: 0.70, se observa la variación de peso acumulado alcanzando el mínimo valor de 0.82% de variación de peso acumulado en el ciclo 1, 2 y 5, y el máximo valor de 1.36% de variación de peso acumulado en varias oportunidades, siendo el ciclo más tardío el ciclo 29, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta.

Del gráfico 13, concreto armado, a/c: 0.45, se observa la variación del peso hasta el ciclo 9 alcanzando el máximo valor de 0.24% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta. A partir del ciclo 9, se observa la disminución y posterior oscilación de variación de peso, alcanzando mínimo valor de -0.12% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 14, concreto armado, a/c: 0.50, se observa el aumento del peso hasta el ciclo 2 alcanzando el máximo valor de 0.39% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta. A partir del

ciclo 2, se observa la disminución y posterior oscilación de variación de peso, alcanzando mínimo valor de -0.13% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 15, concreto armado, a/c: 0.60, se observa la variación del peso hasta el ciclo 9 alcanzando el máximo valor de 0.60% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta. A partir del ciclo 9, se observa la disminución y posterior oscilación de variación de peso, alcanzando mínimo valor de 0.24% de variación de peso acumulado, este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 16, concreto armado, a/c: 0.60, se observa la variación de peso acumulado alcanzando el mínimo valor de 0.78% de variación de peso acumulado en el ciclo 1, y el máximo valor de 1.30% de variación de peso acumulado en varias oportunidades, siendo el ciclo más tardío el ciclo 30, este proceso se explica por el ingreso de cloruro férrico a los poros capilares y por la adherencia del cloruro férrico en la superficie de la probeta.

6.5 PÉRDIDA DE MATERIAL ACUMULADO

Del gráfico 1 y gráfico 2, concreto simple, a/c: 0.45 y 0.50, se observa que luego de alcanzar el máximo valor de peso, se inicia la pérdida de material. Este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 3 y gráfico 4, concreto simple, a/c: 0.60 y 0.70, se observa que el peso ha aumentado al término del ciclo n°30. Este proceso se explica ya que el tamaño de los poros capilares es más grande que los poros de muestras de relación a/c: 0.45 y 0.50, y esto conlleva a haya una mayor adherencia de Cloruro Férrico en los poros capilares y en la superficie.

Del gráfico 5 y gráfico 6, concreto armado, a/c: 0.45 y 0.50, se observa que luego de alcanzar el máximo valor de peso, se inicia la pérdida de material. Este proceso se explica por la pérdida de humedad al secar por 24 horas.

Del gráfico 7 y gráfico 8, concreto armado, a/c: 0.60 y 0.70, se observa que el peso ha aumentado al término del ciclo n°30. Este proceso se explica ya que el tamaño de los poros capilares es más grande que los poros de muestras de relación a/c: 0.45 y 0.50, y esto conlleva a haya una mayor adherencia de Cloruro Férrico en los poros capilares y en la superficie.

6.6 RASGOS FÍSICOS SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS MUESTRAS DURANTE EL ENSAYO DE CORROSIÓN ACELERADA

Luego del ciclo n°30 de ensayo de corrosión acelerada en las probetas de concreto simple y armado, se observó el cambio de color de las probetas de gris a color rojizo, además de ello se observó que los poros aumentaron de tamaño y aparecieron picaduras en toda la superficie de las probetas con fisuras longitudinales.

6.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Luego del ensayo de corrosión acelerada los valores promedio de resistencia a la compresión variaron en:

Relación a/c: 0.50: La resistencia a la compresión disminuyó en 7.5% respecto a su valor inicial

Relación a/c: 0.60: La resistencia a la compresión disminuyó en 7.0% respecto a su valor inicial

Relación a/c: 0.70: La resistencia a la compresión disminuyó en 4.0% respecto a su valor inicial

6.8 TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA

Luego de sumergir la varilla de 3/8" en Cloruro Férrico en solución al 42% los valores variaron en:

La tensión límite fluencia disminuyó en 25% respecto a su valor inicial.

CONCLUSIONES

Luego de desarrollar la tesis: "Deterioro del concreto armado por ataque del Cloruro Férrico", la cual consistió en someter al proceso de corrosión acelerada, proceso desarrollado por el Ing. José Luis Díaz Lazo, a probetas de 4"x8" de concreto simple y concreto armado (con una varilla de 3/8" de 10 cm de longitud colocada al eje de la probeta) por ataque del Cloruro Férrico en solución al 42% se concluye que las probetas de relaciones a/c = 0.45, 0.50, 0.60, 0.70:

1. El concreto sin armadura tuvo incremento de peso durante el proceso de corrosión acelerada.
2. El Cloruro Férrico en solución al 42% ingresó a los poros capilares superficiales para luego saturarlos formando una capa superficial de color rojo cobrizo.
3. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% se presentaron picaduras en la superficie de las probetas de 1 cm de profundidad en promedio.
4. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% se presentaron desprendimientos en bordes y fisuras longitudinales en las probetas.
5. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% la resistencia a la compresión del concreto disminuyó en promedio 6.17% respecto al concreto patrón (no ensayadas a corrosión acelerada).
6. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% la tensión de una varilla de 3/8" disminuyó en promedio 25%, con respecto a la varilla patrón ocasionando que esté por debajo de 4200 kg/cm² en 17%.
7. El Cloruro Férrico en solución al 42% se acumula en mayor cantidad en la superficie de concretos de relación a/c: 0.70.
8. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% la cantidad de Iones Cloruro aumentaron de 146 ppm a 394 ppm.
9. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% la cantidad de Sulfatos aumentaron de 541 ppm a 678 ppm.
10. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% la cantidad de Sales Solubles Totales aumentaron de 815 ppm a 1271 ppm.
11. Por acción del Cloruro Férrico en solución al 42% el PH disminuyó de 12 a 11.

12. En el ensayo de carbonatación las probetas sometidas a corrosión acelerada no presentaron coloración roja grosella, las probetas patrón sí presentaron coloración roja grosella.

Luego de 6 meses de finalizar el ensayo de corrosión acelerada se procedió a pesar y observar el aspecto físico de las muestras. Se concluyó que:

- a) Las muestras se apreciaron más secas.
- b) Aparecieron fisuras.
- c) Se desprendieron capas superficiales.

RECOMENDACIONES

Luego de desarrollar la tesis: "Deterioro del concreto armado por ataque del Cloruro Férrico", la cual consistió en someter al proceso de corrosión acelerada, proceso desarrollado por el Ing. José Luis Díaz Lazo, a probetas de 4"x8" de concreto simple y concreto armado (con una varilla de 3/8" de 10 cm de longitud colocada al eje de la probeta), se recomienda:

1. Utilizar relaciones de agua y cemento menores a 0.50 para retrasar el ingreso de iones cloruro hasta el acero de refuerzo.
2. Proteger las estructuras de concreto armado con recubrimientos mayores a 4 cm con la finalidad de evitar el paso de los iones Cloruros hasta el acero de refuerzo ya que se desencadenaría el proceso de corrosión.
3. Prolongar el tiempo de observación de las muestras a fin de conocer su comportamiento en el tiempo.
4. Realizar más investigaciones con diferentes tipos de cemento a fin de conocer la acción del Cloruro Férrico sobre el concreto y acero.
5. Realizar más investigaciones con acero grado 60 de diferentes diámetros a fin de conocer la acción del Cloruro Férrico en solución al 42% sobre el concreto y acero.
6. Realizar más investigaciones con impermeabilizantes superficiales de concreto a fin de conocer la acción del Cloruro Férrico en solución al 42% sobre el concreto y acero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avendaño Aroni, Angel Rafael, "Corrosión del concreto de mediana a baja . Resistencia por acción del cloruro de sodio con cemento portland tipo I, Tesis para optar Título Profesional FIC – UNI – Lima – Perú, 2000.
2. Andía Cárdenas, Yolanda, "Tratamiento de Agua coagulación y floculación", SEDAPAL – Lima – Perú – 2000.
3. Cerdán Victoria, Williams Erick, "Estudio del concreto de mediana a alta resistencia con aditivo anticorrosivo y cemento portland tipo I" Tesis para optar Título Profesional FIC – UNI – Lima – Perú – 2012.
4. Del Valle Moreno, Angélica, "El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado", Secretaría de Comunicaciones y Transporte – Instituto Mexicano de Transporte – Ciudad de México – México – 2001.
5. Díaz Lazo, José Luis, "Corrosión del cemento por ataque de sulfatos", Tesis para optar Título Profesional FIC – UNI – Lima – Perú – 1994.
6. Guerra Motta, Julio, "Efecto del Cloruro de Sodio sobre las Propiedades del Concreto", Tesis FIC- UNI- Lima- Perú- 1981.
7. Gonzales de la Cotera, Manuel, "La corrosión del concreto en ambiente marino", ASOCCEM – Lima – Perú – 1998.
8. Huincho Salvatierra, Edher, "Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsilice, nanosilice, con cemento Portland tipo I", Tesis para optar Título Profesional FIC – UNI – Lima – Perú – 2011.
9. Molina Benavente, Erika Rocío, "Monitoreo y diagnóstico de estructuras de concreto armado afectadas por corrosión de cloruros", Tesis para optar Título Profesional FIC – UNI – Lima – Perú – 2009.
10. Orozco Carlos, Luis Alberto, "Corrosión Acelerada del Concreto de Mediana a Alta Resistencia por Acción del Cloruro de Sodio con Cemento Portland Tipo 1", Tesis FIC- UNI - Lima - Perú - 2001.
11. Ramírez Cruz, Elmer, "Corrosión de las Armaduras Embebidas en Hormigón en ambientes de extrema agresividad", Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Químicas – Universidad Complutense de Madrid - Madrid – España – 1994.
12. Requena Soto, Elías Filiberto, "Efectos del Cloruro de Calcio sobre las propiedades del Concreto", Tesis FIC- UNI- Lima- Perú- 1966.

13. Rimarachín Sánchez, Luis Hernando, “Corrosión del mortero de cemento con armadura, por ataque del cloruro de sodio”, Tesis para optar Título Profesional FIC – UNI – Lima – Perú – 2013.
14. Rivva López, Enrique, “Ataques al Concreto”, Edición N°3, Fondo editorial ICG, Lima – Perú, 2016.

ANEXOS

ANEXO 1:

CORROSIÓN DE ACERO DE REFUERZO

Espesores de óxido:

El proceso de corrosión consta de tres etapas, la primera es cuando la superficie del metal se encuentra limpia y brillante, la segunda es cuando los núcleos de óxido empiezan a extenderse por toda la superficie hasta que logran unirse entre sí y cubrir totalmente la superficie y finalmente, la tercera etapa es cuando empieza el engrosamiento del conglomerado de núcleos. Se suele llamar óxidos delgados a los que tienen espesores menores a 10^{-7} m y óxidos gruesos a los que tienen espesores mayores a este, se debe tener en cuenta que los espesores varían según las condiciones.

Capas gruesas y transporte:

Existe una manera de diferenciar los metales que forman capas protectoras de óxidos de los que no las forman (capas porosas). Según Pilling y Bedworth, si el volumen de óxido formado es menor que el del metal que reemplaza se tendrá un óxido de estructura porosa y si es mayor, se formará una capa de óxido homogénea y continua.

Lo dicho por Pilling y Bedworth, se resume a una relación entre el peso molecular, densidad de metal y el peso fórmula del metal y densidad del óxido, si esta relación es menor que 1 se tiene un óxido poroso, si es mayor a 1 se tiene un óxido continuo.

Si la relación es mayor a 1 una vez formada una capa protectora, el metal queda separado del oxígeno y para que la oxidación pueda continuar, se debe hacer por difusión a través de la película de óxido. Entonces la velocidad de oxidación dependerá de la velocidad en que el oxígeno entra en contacto con el metal.

Se ha comprobado que en el caso de metales comunes (cobre, hierro, cobalto, níquel) tiene relación mayor a 1 y que el crecimiento de la película de óxido se produce por la difusión del metal hacia afuera del óxido y no se detecta que el oxidante, como por ejemplo oxígeno, tenga movimiento hacia dentro.

Óxidos tipo p y tipo n:

Los óxidos del tipo p son los que aumenta su conductividad eléctrica al aumentar la presión de oxígeno y los óxidos tipo n son los que disminuye su conductividad al disminuir la presión del oxígeno.

Aleantes:

Es posible aumentar la resistencia a la oxidación aleando el metal con aleantes adecuados: aleantes de menor valencia para óxidos tipo p y de mayor valencia para óxidos tipo n.

Protección por metalizado:

Hay ciertos casos en donde la aleación de metales para proteger la oxidación no es tan eficiente por razones económicas o por razones de funcionalidad ya que el material aleante puede dar características mecánicas diferentes al metal. Para estos casos se puede lograr una protección mediante el recubrimiento superficial del metal para inducir a la oxidación y así proteger al metal base.

ANEXO 2:

PASIVACION DEL ACERO EMBEBIDO EN EL CONCRETO: DIAGRAMA DE POURBAIX

El concreto actúa como recubrimiento del acero de refuerzo y gracias a su medio básico, actúa como protección ante la corrosión ya que permite la formación de una barrera o capa entre el acero de refuerzo y el agente corrosivo. Esta barrera es llamada capa de pasivación y deberá estar rota para que el proceso de corrosión se inicie que en este caso se debe a los iones cloruros.

La corrosión ocasionada por cloruros empieza cuando la concentración es tan alta que la alcalinidad del concreto no basta para proteger al acero. Este nivel de iones cloruros es llamado valor umbral de cloruros que una vez alcanzado se puede decir que la fase pasiva ha terminado y la corrosión ha iniciado.

El diagrama de Pourbaix relaciona el PH y el potencial eléctrico y tiene las siguientes zonas:

- Zona de inmunidad, donde el acero de refuerzo se encuentra en condiciones estables.
- Zona de corrosión activa, donde predomina las reacciones de oxidación que provocan la disolución continua del acero de refuerzo. El límite de la zona de corrosión y la zona de inmunidad es gradual.
- Zona de pasividad, es donde los hidróxidos de fierro forman una película protectora en la superficie del acero de refuerzo que evita el avance del proceso de corrosión. En caso haya alguna imperfección de la zona de pasividad daría como resultado a corrosiones localizadas como las picaduras.

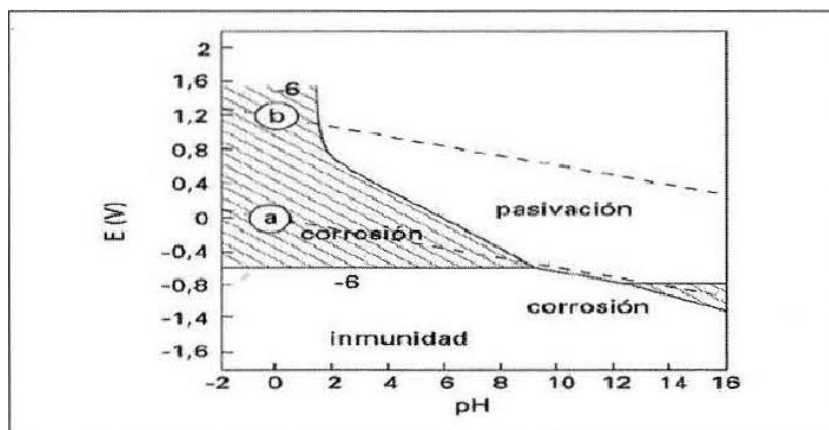


Diagrama de Pourbaix

ANEXO 3:

VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CLORUROS

La velocidad con que los iones cloruros penetran en el interior del concreto, es una función de la raíz cuadrada del tiempo, ya que tanto los procesos de difusión pura como los de absorción capilar, siguen una ley potencial.

$$X_{c1} = K_{c1} \cdot t^{0.5}$$

donde:

X_{c1} : profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros

t: tiempo

K_{c1} : constante que depende del concreto y del medio en el que está expuesto.

De forma práctica calcularemos la constante K_{c1} para concretos de relación a/c: 0.45 y 0.70 de manera experimental.

Concreto de a/c: 0.45:

Después de someter al proceso de corrosión acelerada se procedió a medir la profundidad de penetración del cloruro y el tiempo transcurrido:

$$X_{c1} = 1 \text{ mm}$$

$$t = 0.167 \text{ año}$$

Entonces, reemplazando estos valores experimentales en la ecuación de Fick procedemos a calcular la constante

$$1 \text{ mm} = K_{c1} \cdot 0.167^{0.5}$$

$$K_{c1} = 2.45 \text{ mm}/(\text{año}^{0.5})$$

Concreto de a/c: 0.70:

Después de someter al proceso de corrosión acelerada se procedió a medir la profundidad de penetración del cloruro y el tiempo transcurrido:

$$X_{c1} = 3\text{mm}$$
$$t = 0.167 \text{ año}$$

Entonces, reemplazando estos valores experimentales en la ecuación de Fick procedemos a calcular la constante

$$3 \text{ mm} \cdot = K_{c1} \cdot .0.167^{0.5}$$
$$K_{c1} = 7.35 \text{ mm}/(\text{año}^{0.5})$$



Muestra izquierda: Concreto de relación a/c:0.70

Muestra derecha: Concreto de relación a/c: 0.45

ANEXO 4
INSPECCIÓN VISUAL: PATOLOGÍA DE LAS PROBETAS DE CONCRETO
DURANTE EL ENSAYO DE CORROSIÓN ACELERADA



Ciclo n°1: Coloración rojiza de probetas



Ciclo n°4: Aumento de tamaño de poros



Ciclo n°9: Aparición de picaduras



Ciclo 15: Aparición de grietas tipo polígonos cerrados



Ciclo 25: Hinchazón de áreas agrietadas



Al término del ensayo: Desprendimiento de capas superficiales



Al término del ensayo: Desprendimiento de capas superficiales

ANEXO 5

ACCIÓN DEL CLORURO DE SODIO EN PROBETAS DE CONCRETO ARMADO

Luego del ensayo de corrosión acelerada del concreto por acción del Cloruro de Sodio investigada en la Tesis de Luis Hernando Rimarachín Sánchez se observó el comportamiento de las probetas durante los 2 años siguientes y se obtuvieron las siguientes fotos:



Probetas fracturadas



Acero de refuerzo



Pobreta fracturada



Acero de refuerzo



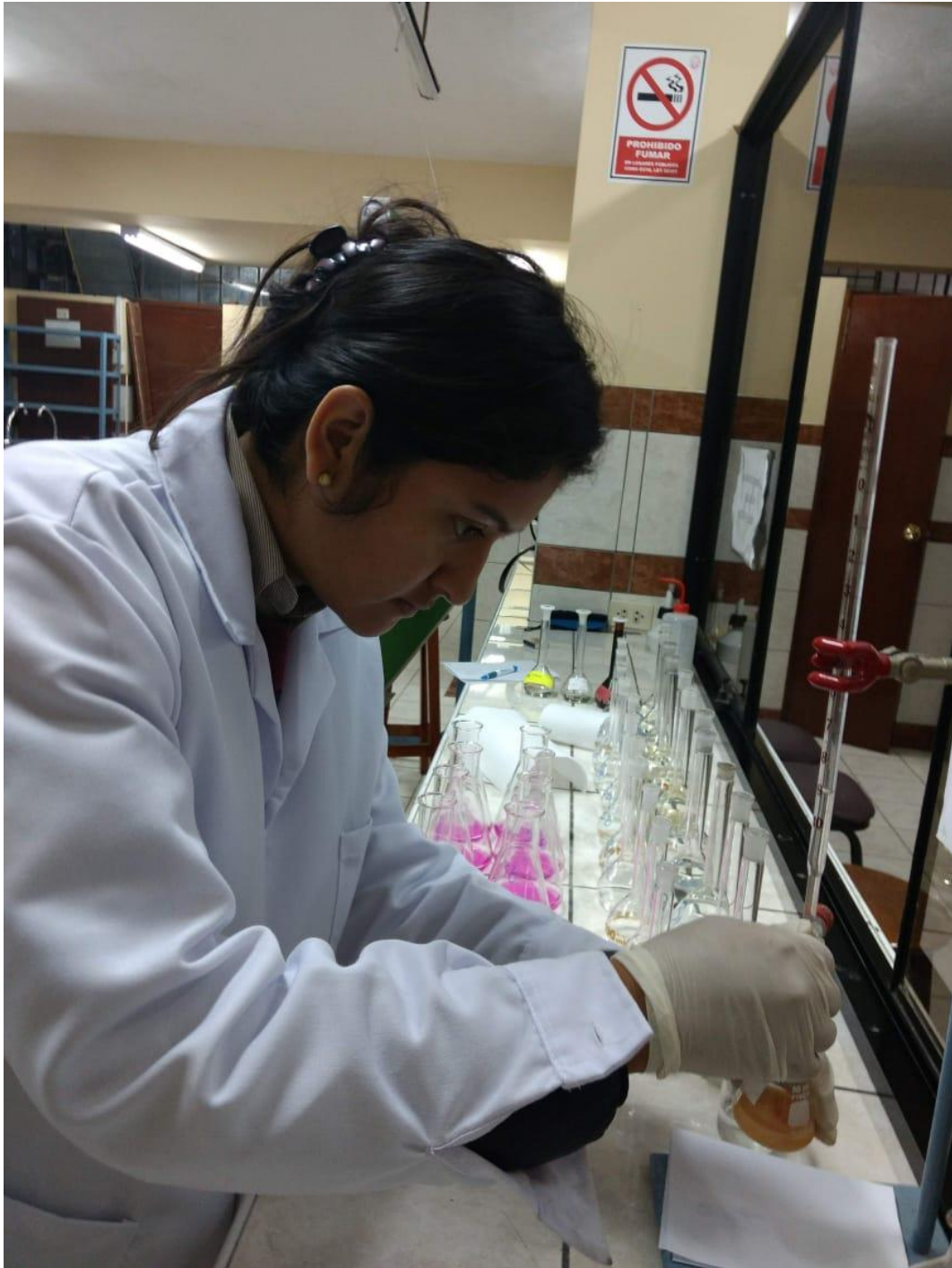
Probetas fracturadas y acero de refuerzo

ANEXO 6 FOTOS DE LOS ENSAYOS

Muestras elaboradas en el LEM FIC UNI



Ensayos químicos de las muestras



Ensayo de carbonatación de muestras



ANEXO 7

TABLA DE DATOS DE ENSAYO POR CORROSIÓN ACELERADA

Esta tabla muestra el peso y la variación de peso de las probetas, en gramos y porcentaje, para cada ciclo. Las tablas fueron separadas según la relación agua/cemento.

Tabla 2: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.45

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	4185.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	4200.00	0.00	0.00%	15.00	0.36%	15.00	0.36%	0.36%
2	4200.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
3	4205.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.48%
4	4200.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
5	4200.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
6	4205.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.48%
7	4200.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
8	4190.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.12%
9	4195.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
10	4200.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.36%
11	4200.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
12	4195.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
13	4195.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
14	4195.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
15	4195.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
16	4195.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
17	4190.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
18	4195.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
19	4190.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	4190.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
21	4190.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
22	4195.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
23	4195.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
24	4190.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
25	4195.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
26	4190.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
27	4195.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
28	4190.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
29	4195.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
30	4190.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.50

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	4135.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	4155.00	0.00	0.00%	20.00	0.48%	20.00	0.48%	0.48%
2	4160.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.60%
3	4160.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.60%
4	4150.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.36%
5	4155.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.48%
6	4155.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.48%
7	4145.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.24%
8	4145.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
9	4145.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
10	4150.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.36%
11	4150.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
12	4150.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
13	4145.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
14	4150.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.36%
15	4140.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.12%
16	4145.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
17	4140.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
18	4145.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
19	4150.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.36%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	4145.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
21	4140.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
22	4145.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
23	4140.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
24	4145.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.24%
25	4145.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
26	4145.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
27	4140.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
28	4150.00	0.00	0.00%	10.00	0.24%	10.00	0.24%	0.37%
29	4145.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.25%
30	4140.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.60

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	4145.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	4170.00	0.00	0.00%	25.00	0.60%	25.00	0.60%	0.60%
2	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.48%
3	4160.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
4	4175.00	0.00	0.00%	15.00	0.36%	15.00	0.36%	0.72%
5	4165.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.48%
6	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.60%
7	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.48%
8	4165.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.48%
9	4165.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.48%
10	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.60%
11	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.48%
12	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.60%
13	4175.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.72%
14	4165.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.48%
15	4165.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.48%
16	4160.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
17	4165.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.49%
18	4175.00	0.00	0.00%	10.00	0.24%	10.00	0.24%	0.73%
19	4165.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.49%

20	4165.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.49%
21	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.61%
22	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.49%
23	4165.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.49%
24	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.61%
25	4170.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.61%
26	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.49%
27	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.61%
28	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.49%
29	4170.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.61%
30	4165.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.49%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: DATOS DEL CONCRETO SIMPLE, A/C:0.70

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	3675.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	3705.00	0.00	0.00%	30.00	0.82%	30.00	0.82%	0.82%
2	3705.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.82%
3	3710.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.95%
4	3720.00	0.00	0.00%	10.00	0.27%	10.00	0.27%	1.22%
5	3705.00	-15.00	-0.40%	0.00	0.00%	-15.00	-0.40%	0.82%
6	3710.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.95%
7	3715.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.09%
8	3715.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.09%
9	3715.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.09%
10	3720.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.22%
11	3720.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.22%
12	3715.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.09%
13	3720.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.22%
14	3720.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.22%
15	3720.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.22%
16	3720.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.22%
17	3715.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.09%
18	3720.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.22%
19	3725.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.36%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	3725.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.36%
21	3720.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.22%
22	3725.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.36%
23	3720.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.22%
24	3720.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.22%
25	3725.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.36%
26	3725.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.36%
27	3715.00	-10.00	-0.27%	0.00	0.00%	-10.00	-0.27%	1.09%
28	3720.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.22%
29	3725.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.36%
30	3720.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.22%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C:0.45

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	4085.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	4095.00	0.00	0.00%	10.00	0.24%	10.00	0.24%	0.24%
2	4095.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
3	4095.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
4	4090.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
5	4085.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.00%
6	4090.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.12%
7	4085.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.00%
8	4090.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.12%
9	4095.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.25%
10	4090.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.12%
11	4090.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
12	4090.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
13	4090.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
14	4080.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	-0.12%
15	4085.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.00%
16	4080.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	-0.12%
17	4080.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	-0.12%
18	4085.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.00%
19	4085.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	4085.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
21	4080.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	-0.12%
22	4085.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.00%
23	4090.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.12%
24	4090.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
25	4090.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.12%
26	4085.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.00%
27	4080.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	-0.12%
28	4085.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.00%
29	4080.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	-0.12%
30	4085.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.00%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C: 0.50

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	3895.00	0.00	0.00%	15.00	0.39%	15.00	0.39%	0.39%
2	3895.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.39%
3	3890.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	0.26%
4	3890.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.26%
5	3885.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	0.13%
6	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.13%
7	3890.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.26%
8	3885.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	0.13%
9	3890.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.26%
10	3890.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.26%
11	3885.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	0.13%
12	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.13%
13	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.13%
14	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	0.00%
15	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.13%
16	3875.00	-10.00	-0.26%	0.00	0.00%	-10.00	-0.26%	-0.13%
17	3875.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	-0.13%
18	3880.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.00%
19	3875.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	-0.13%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	3875.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	-0.13%
21	3880.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.00%
22	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.13%
23	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.13%
24	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	0.00%
25	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
26	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
27	3875.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	-0.13%
28	3875.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	-0.13%
29	3880.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.00%
30	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C: 0.60

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	4140.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	4160.00	0.00	0.00%	20.00	0.48%	20.00	0.48%	0.48%
2	4165.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.60%
3	4160.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.48%
4	4160.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.48%
5	4160.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.48%
6	4155.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
7	4155.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
8	4160.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.48%
9	4165.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.60%
10	4155.00	-10.00	-0.24%	0.00	0.00%	-10.00	-0.24%	0.36%
11	4160.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.48%
12	4155.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
13	4160.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.48%
14	4155.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
15	4155.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
16	4150.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
17	4150.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.24%
18	4160.00	0.00	0.00%	10.00	0.24%	10.00	0.24%	0.48%
19	4155.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	4150.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
21	4160.00	0.00	0.00%	10.00	0.24%	10.00	0.24%	0.48%
22	4155.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.36%
23	4155.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
24	4150.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
25	4155.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.36%
26	4150.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.24%
27	4155.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.36%
28	4155.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.36%
29	4160.00	0.00	0.00%	5.00	0.12%	5.00	0.12%	0.49%
30	4155.00	-5.00	-0.12%	0.00	0.00%	-5.00	-0.12%	0.37%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9: DATOS DEL CONCRETO ARMADO, A/C: 0.70

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
0	3835.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
1	3865.00	0.00	0.00%	30.00	0.78%	30.00	0.78%	0.78%
2	3870.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	0.91%
3	3880.00	0.00	0.00%	10.00	0.26%	10.00	0.26%	1.17%
4	3870.00	-10.00	-0.26%	0.00	0.00%	-10.00	-0.26%	0.91%
5	3880.00	0.00	0.00%	10.00	0.26%	10.00	0.26%	1.17%
6	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.17%
7	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.17%
8	3875.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.04%
9	3875.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.04%
10	3880.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.17%
11	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.17%
12	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.30%
13	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.30%
14	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.30%
15	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.17%
16	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.30%
17	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.30%
18	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.30%
19	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.17%

Ciclos de ensayo	Peso (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Aumento de peso (gr)	Aumento de peso (%)	Variación de peso (gr)	Variación de peso (%)	Variación de peso acumulado (%)
20	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.30%
21	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.17%
22	3875.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.04%
23	3880.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.17%
24	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.30%
25	3885.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.30%
26	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.17%
27	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.30%
28	3880.00	-5.00	-0.13%	0.00	0.00%	-5.00	-0.13%	1.17%
29	3880.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1.17%
30	3885.00	0.00	0.00%	5.00	0.13%	5.00	0.13%	1.30%

Fuente: Elaboración Propia