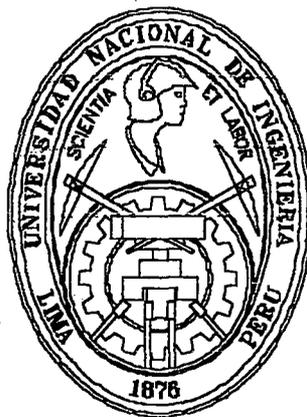


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“PROCESO DE CORROSION EN CONCRETO DE
MEDIANA A BAJA RESISTENCIA POR ACCION DEL
SULFATO DE MAGNESIO, USANDO CEMENTO
PORTLAND TIPO I”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL

DE

INGENIERO CIVIL

EDUARDO CELSO MEZA BERNUY

LIMA-PERU

2003

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

DEDICATORIA

A mi querido padre, recientemente fallecido,
por ser mi inspiración, el
Ing. Fernando Meza Sumari

A mi madre Isabel, que es mi soporte y
mis hermanos Jessica, Julio y Karina
por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A las personas que de una u otra
forma han hecho posible este trabajo.

Ing. Carlos Barzola Gastelú

A mis amigos por estar siempre conmigo.

CONTENIDO

Pág

INTRODUCCION

CAPITULO I: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

1.1	Sulfato de Magnesio.	4
1.2	Cemento.	5
1.2.1	Generalidades.	5
1.2.2	Tipos de cemento Portland.	5
1.2.3	Composición del cemento Pórtland.	7
1.2.4	Cemento utilizado en la tesis.	8
1.2.5	Normalización.	9
1.3	Propiedades del Agregado Fino.	10
1.3.1	Introducción.	10
1.3.2	Granulometría del agregado fino.	11
1.3.3	Peso Específico y Porcentaje de Absorción.	15
1.3.4	Contenido de Humedad.	18
1.3.5	Peso Unitario Suelto y Compactado.	18
1.4	Propiedades del agregado Grueso.	20
1.4.1	Introducción.	20
1.4.2	Granulometría.	22
1.4.3	Peso Específico y Porcentaje de Absorción.	24
1.4.4	Contenido de Humedad.	26
1.4.5	Peso Unitario Suelto y Compactado.	26
1.5	Granulometría del agregado global.	27
1.5.1	Resultado del método del agregado global.	28
1.5.2	Gráfico del agregado global.	28
1.6	Agua	29

CAPITULO II: ESTUDIO DE LA CORROSION EN EL CONCRETO.

2.1	Durabilidad.	31
2.1.1	Definición.	31
2.1.2	Importancia.	32
2.1.3	Corrosión en infraestructura de concreto.	33
2.2	Introducción al estudio de la corrosión en el concreto.	34
2.3	Procesos.	35
2.3.1	Corrosión producida por expansiones.	36
2.4	Tipos de Corrosión.	49
2.4.1	Ataque de sulfatos.	50
2.4.2	Reacción álcali-agregado.	52
2.4.3	Hidratación de MgO y CaO cristalinos.	54
2.4.4	Corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto.	55
2.4.5	Corrosión microbiana en el concreto.	60
2.5	Consecuencias sobre los componentes del concreto.	62
2.5.1	La acción de las disoluciones sulfáticas sobre los constituyentes del cemento.	62
2.6	El agua como agente de deterioro.	67
2.7	Permeabilidad.	68

CAPITULO III: MECANISMO DE ACCION.

3.1	Introducción.	70
3.2	Fundamento de ensayos a realizar.	71
3.2.1	Ensayos de corrosión a largo plazo.	71
3.2.2	Ensayo a corto plazo o de corrosión acelerada.	72
3.2.3	Ejecución de los ensayos de corrosión.	75
3.2.4	Determinación del grado de corrosión.	76

CAPITULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS.

4.1	Criterio de diseño.	78
4.2	Métodos de diseño utilizado.	78

4.2.1	Método del comité 211 del ACI.	78
4.2.2	Método del agregado global.	79
4.3	Secuencia de diseño utilizado.	82
4.4	Diseño de mezclas final. a/c 0.60, 0.65 y 0.70	85

CAPITULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO.

5.1	Introducción.	86
5.2	Asentamiento.	
5.2.1	Definición.	86
5.2.2	Procedimiento.	86
5.3	Fluidez.	
5.3.1	Definición.	87
5.3.2	Procedimiento.	87
5.4	Contenido de aire.	
5.4.1	Definición.	88
5.4.2	Procedimiento.	89
5.5	Exudación.	
5.5.1	Definición.	89
5.5.2	Procedimiento.	91
5.6	Peso Unitario.	
5.6.1	Definición.	92
5.6.2	Procedimiento.	92
5.7	Tiempo de fraguado.	
5.7.1	Definición.	92
5.7.2	Procedimiento.	94
5.8	Relación de cuadros.	95
5.9	Relación de gráficos.	97

CAPITULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO.

6.1	Introducción.	101
-----	---------------	-----

6.2	Procedimiento de preparación de las probetas de concreto (estándar 6x12").	101
6.3	Resistencia a la compresión.	
6.3.1	Definición	102
6.3.2	Procedimiento.	102
6.4	Resistencia a la tracción por compresión diametral.	
6.4.1	Definición.	104
6.4.2	Procedimiento	104
6.5	Relación de cuadros.	105
6.6	Relación de gráficos.	106

CAPITULO VII: ENSAYOS ACELERADOS DE CORROSION EN CONCRETO ENDURECIDO.

7.1	Introducción.	108
7.2	Corrosión acelerada por sulfato de magnesio.	109
7.2.1	Procedimiento de preparación de las probetas de concreto de 4x8".	109
7.2.2	Ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso propuesto por el Ing. José Luis Díaz Lazo (Tesis: "Corrosión del cemento por ataque de sulfatos.")	111
7.2.3	Ensayo de compresión a los 30-60-90-120 días a muestras en solución de sulfato de magnesio.	113
7.2.4	Relación de cuadros y gráficos del ensayo de humedecido, secado y perdida de peso, relación a/c 0.60, 0.65 y 0.70.	115
7.2.5	Cuadros y gráficos del ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días a muestras sumergidas en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt..	121

CAPITULO VIII: ACCIONES DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN**ANTE EL PROCESO CORROSIVO.**

8.1	Introducción	127
8.2	Medidas preventivas para disminuir o evitar la acción corrosiva sobre el concreto.	127
8.3	Control del ataque de sulfatos.	129
8.4	Acciones preventivas	130

CAPITULO IX: ANÁLISIS DE RESULTADOS.	132
--------------------------------------	-----

CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1	Introducción.	153
10.2	Conclusiones.	154
10.3	Recomendaciones.	160

BIBLIOGRAFÍA.	162
---------------	-----

ANEXOS.

Anexo A: Cuadros y gráficos de las principales propiedades de los agregados y el concreto.

Anexo B: Cuadros y gráficos de los ensayos de durabilidad (corrosión acelerada).

Anexo C: Manifestaciones físicas presentadas en el concreto en el ensayo de humedecido, secado y pérdida de peso.

Anexo D: Panel de fotografías.

Anexo E: Otros.

INTRODUCCIÓN

La corrosión se podría definir de manera general como toda aquella degradación paulatina que sufre cualquier cosa.

La corrosión en el concreto es un proceso complejo, que representa un problema para cualquier estructura de ingeniería puesto que esta corrosión se desarrolla en diferentes medios, así por lo tanto se puede apreciar la corrosión en las construcciones marinas que es el medio más conocido donde se puede observar este fenómeno pero no es el único, también es posible apreciarlo en los problemas que se presentan en las cimentaciones, obras hidráulicas, túneles, puentes, etc; debido a que estas estructuras están en contacto con suelos y aguas freáticas con sustancias agresivas.

Los adelantos tecnológicos e incremento del número de fábricas representa nuevos tipos de proceso de corrosión, producto de los desechos químicos y a los residuos cloacales presentes en las alcantarillas.

La corrosión en el concreto es un proceso complejo porque involucra una serie de factores tanto externos como en el concreto en sí; existiendo también una diversidad de procesos corrosivos como químico, físico-mecánico y electroquímico (presentes en el concreto armado).

Esta complejidad no ha permitido desarrollar un método de ensayo definitivo en laboratorio que reúna todas las condiciones para que represente una situación real. Debido a que en la naturaleza la corrosión se desarrolla muy lentamente en el laboratorio se busca que estos plazos de ejecución sean lo más cortos posibles y representativos, por lo que se realizan ensayos de corrosión acelerados.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

Cuanto más conozcamos sobre este fenómeno podremos tomar las medidas necesarias para poder controlarlo. En la actualidad los estudios están orientados a la recopilación de la mayor información del comportamiento del concreto ante la acción de diversas sustancias agresivas, en este trabajo de investigación se utilizó el sulfato de magnesio.

Para la realización de este trabajo se dividió en 10 capítulos. El capítulo I trata sobre las características principales de los materiales que serán utilizados en este trabajo (sulfato de magnesio, cemento, agregado fino, agregado grueso y agua). El capítulo II trata sobre el estudio en general de la corrosión en el concreto, los diversos tipos y procesos de corrosión que son característicos y nos permitirá tener una visión más amplia de este fenómeno. El capítulo III trata sobre los ensayos y fundamentos, que se realizan para establecer parámetros que nos permitan cuantificar el grado de deterioro que sufre el concreto ante el ataque de un agente agresivo. En el capítulo IV se manifiesta los criterios de diseño utilizados, además de las dosificaciones para las relaciones agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70. Los Capítulos V y VI se ven las principales propiedades del concreto tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. En el capítulo VII se presenta los ensayos acelerados de corrosión que además se subdividen en dos tipos de ensayo como son el ensayo de humedecido, secado y pérdida de peso (propuesto por el Ing. José Luis Díaz Lazo, Tesis: "Corrosión del cemento por ataques de sulfato") y el ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días a muestras sumergidas en una solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt. En el capítulo VIII se mencionan las acciones de prevención más importantes para poder controlar los procesos de corrosión. En el capítulo IX se realiza los análisis de resultados de los datos obtenidos y en capítulo X se presenta las conclusiones y las recomendaciones de este trabajo.

Todos los ensayos realizados en este trabajo se llevaron a cabo en Laboratorio de Ensayo de Materiales N°01 de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Portland Tipo I"

Agradezco al Ing. Carlos Barzola Gastelú, ya que fue el quien me sugirió el tema y me brindó su total apoyo al asesorarme.

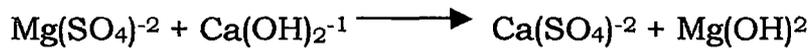
CAPITULO I

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

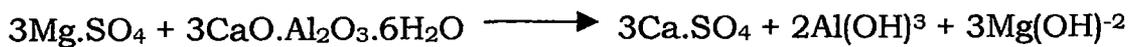
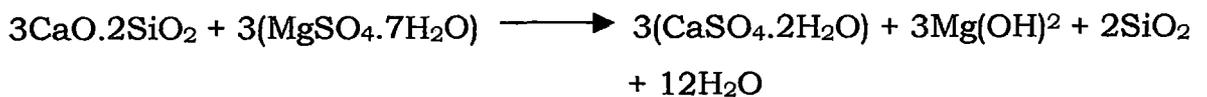
1.1. SULFATO DE MAGNESIO:

Al disolver el sulfato de magnesio en el agua se obtiene un agua magnésica con una determinada concentración dependiendo de la cantidad de sulfato disuelto.

El proceso corrosivo producido por este sulfato es debido a las acciones químicas, pudiéndose representar en las siguientes ecuaciones:



Al producirse esta reacción generaría deterioro por acción de un intercambio de iónico, del ión sulfato y debido a la acción más amplia de esta sal no solo reacciona con la cal libre sino también podría reaccionar con los componentes de la pasta, tal como se muestra en las siguientes ecuaciones:



Los estudios realizados teniendo en cuenta las acciones químicas causantes de deterioro, nos indican el tipo de acción y la característica del proceso corrosivo, puede ser debido a la concentración que presentan las soluciones, esto se observa en la tabla siguiente cuadro 1.1.

Cuadro 1.1

Tipo de Corrosión dependiendo de la Concentración de Sulfato de Magnesio

CONCENTRACIONES EN ppm	TIPO DE ACCION DEGRADANTE	CARACTERÍSTICA DEL PROCESO DE CORROSIÓN
MgSO ₄ < 4000 ppm	Acción debida al Ión Sulfato (SO ₄)	Formación de grietas del sulfoaluminato.
MgSO ₄ > 4000 ppm MgSO ₄ < 7500 ppm	Sulfoaluminato selenitosa. Ión Magnésico (Mg) ⁺²	Disminuye velocidad de degradación.
MgSO ₄ > 7500 ppm	Exclusivamente Ión Magnesio (Mg) ⁺²	Aparecen expansiones.

Los procesos de deterioro por acción química son estudios extensos y complicados no teniendo parámetros definidos ni ensayos definidos, por lo que son ensayos acelerados.

1.2. CEMENTO :

1.2.1 Generalidades: Según su concepción mas general es cualquier material que posee propiedades cohesivas. La definición actual del cemento Pórtland puede enunciarse de la siguiente forma: el cemento Pórtland es el resultado de una mezcla intima de materiales calcáreos arcillosos en proporciones convenientes llevada hasta fusión incipiente y posteriormente molida muy finamente sin contar con ninguna adición que no sea yeso.

Cementos Pórtland: Los cementos Pórtland se llaman hidráulicos porque fraguan y endurecen al reaccionar con el agua. Esta reacción se llama hidratación, esta es una reacción química en la que se combina el cemento y el agua para formar una masa parecida a la piedra.

1.2.2 Tipos de cemento Pórtland: Los diferentes tipos de cemento Pórtland se fabrican para satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas

para fines especiales. Las normas americanas ASTM describe cinco tipos de cemento Pórtland I, II, III, IV, V, IS, ISM, IP e IPM.

Tipo I (ITINTEC 334.038): Este tipo es para uso general. Es el adecuado para todas las situaciones donde no se requieran las propiedades especiales de los otros tipos. Se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores específico, como los sulfatos de los suelos o del agua, o a las elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado por el calor de hidratación. Entre sus usos se incluyen pavimentos y aceras, edificios de concreto reforzado puentes, tanques, alcantarillas, etc.

Tipo II (ITINTEC 334.038): El cemento tipo II se usan cuando sean necesarias precauciones contra el ataque moderado por los sulfatos, como en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en las aguas subterráneas sean algo mas elevados que lo normal, pero normalmente no muy graves. El tipo II genera usualmente menor calor, mas despacio que el cemento tipo I o Normal. Si se especifica el calor máximo de hidratación para el cemento, puede usarse el tipo II en las estructuras de gran masa, como las grandes pilas, estribos gruesos, y en los muros de contención gruesos. Con sus uso, se disminuye al mínimo la elevación de la temperatura, lo cual es espacialmente importante cuando el concreto se cuele en climas cálidos.

Tipo III(ITINTEC 334.039): Este tipo de cemento permite obtener con rapidez elevadas resistencias, usualmente en una semana o menos. Se usa cuando se tienen que retirar los moldes lo mas pronto posible, o cuando la estructura se debe poner en servicio rápidamente. En tiempos de frió, su uso permite reducir el tiempo de curado.

Tipo IV: El cemento tipo IV es para usarse donde el grado y la cantidad de calor generado se debe reducir al mínimo. El cemento tipo IV adquiere resistencia mas despacio que el cemento tipo I o normal. Sus propiedades son las necesarias para usarse en estructuras de concreto de gran masa, como las grandes presas de gravedad, donde la elevación producida en la

temperatura por el calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico.

Tipo V (ITINTEC 334.040): Este tipo de cemento se usa solamente en concreto sujeto al efecto intenso de sulfatos. Se usa principalmente donde los suelos o el agua subterránea tenga una concentración elevada de sulfatos. Su resistencia aumenta más lentamente que en el cemento tipo I o normal.

Clasificación y empleo de los Cementos Nacionales: Los cementos Pórtland se clasifican de acuerdo a su composición y usos. Según esto, existen los cementos Pórtland puros y Pórtland adicionados.

Dentro de los puros se tiene los tipos I, II, III, IV y V, produciéndose en el Perú, a la fecha, solo los tipos I, II, y V.

Dentro de los cementos adicionados se producen en el país:

Cementos Pórtland Puzolánico IP: para los mismos usos del cemento Pórtland tipo I, especialmente para obras de grandes masas de concreto y obras que requieran resistencias a las aguas agresivas(agua de mar, aguas negras, etc.)

Cemento Pórtland de Escoria IS: Para los mismos usos del cemento Pórtland Tipo I, especialmente para obras de concreto armado subterráneo, todo tipo de obras en aguas agresivas (en particular aguas de mar) y todo tipo de obras hidráulicas. Su empleo es también conveniente en ciertos pavimentos y estabilizadores de suelos. Uso limitado de revoques, enlucidos, obras de pequeño espesor.

1.2.3 Composición del Cemento Pórtland:

En la práctica se puede considerar que los cementos Pórtland están formados por cuatro compuestos principales, que a continuación se dan con sus formulas químicas y abreviaturas.

Cuadro 1.2

Fórmula química	Abreviatura	Porcentajes
Silicato bicálcico 2CaOSiO_2	= C_2S	15 a 46%
Silicato tricálcico 3CaOSiO_2	= C_3S	30 a 56%
Aluminato tricálcico $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	= C_3A	4 a 12%
Ferroaluminato tetracálcico $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	= C_4AF	8 a 13%

Fuente: ASOCEM

Las resistencias mecánicas son debidas a la suma de C_3S y C_2S siendo el primero que da la resistencia a corto plazo y el segundo a largo plazo.

El módulo de elasticidad está directamente relacionado con las resistencia mecánicas, por lo tanto depende en igual grado que estas del C_3S y C_2S .

El C_3A acelérale endurecimiento en las primeras horas. El C_4AF y C_3A principalmente el primero, actúan como verdaderos fundentes, bajando la temperatura necesaria dentro del horno para la cocción.

La resistencia a los sulfatos y al hielo-deshielo depende del C_3A , a mayor cantidad de C_3A , menor resistencia de ambos.

1.2.4 CEMENTO UTILIZADO EN LA TESIS:

Para este estudio se ha tomado como cemento de referencia al Cemento Pórtland de tipo I "Cemento Sol" producida por la fábrica de Cementos Lima: La cual tiene su planta en la Av. Atocongo en el Distrito de Villa María del Triunfo.

Este cemento Pórtland tipo I es el más común debido a que no presenta cualidades especiales y es el que se usa como referencia en este estudio. En el Perú existen las fábricas: Cemento Lima, Pacasmayo y Andino que son productores de cemento Pórtland I. Este cemento presenta las siguiente composición:

Componentes Principales

Cal (CaO)	Constituye 61% a 67% del cemento. Sirve para controlar los tiempos de fraguado.
Sílice (SiO ₂)	Constituye 17% a 25% en el cemento. Es resistente e insoluble en agua.
Alúmina (Al ₂ O ₃)	Constituye 4% al 8% en el cemento. Un alto contenido de alúmina y bajo de sílice, produce un cemento de fraguado rápido y también de alta resistencia.
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	Constituye 0.5% a 5% y actúa en la misma forma que la alúmina.

Fuente: ASOCEM

Componentes secundarios

Pérdida por ignición	Disminución de peso de una muestra de cemento que fue calentada al rojo vivo (900°C a 1000°C) hasta obtener un peso constante. 3% como máximo
Residuo insoluble	Nos muestra parte arcillosa que no es soluble.
Anhídrido Sulfúrico (S3)	El contenido del anhídrido sulfúrico permite realizar el cálculo del valor de calcio presente en el cemento, así como la cal combinada y también el contenido de azufre limitándose al 2.5% o 3%.

Fuente: ASOCEM

1.2.5 Normalización:

El INDECOPI por intermedio de su comité Especializado en Cemento, ha elaborado las siguientes Normas Técnicas:

- Cementos. Definiciones y Nomenclatura NTP 334.001
- Cementos. Métodos para la determinación de la finura expresada por la superficie específica (Blaine) NTP 334.002
- Cementos. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica. NTP 334.003
- Cementos. Método de determinación del peso específico NTP 334.005
- Cementos. Método de determinación de la resistencia normal y fraguado NTP 334.006.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Portland Tipo I"

1.3. Propiedades del Agregado Fino.

1.3.1 Introducción:

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz NPT 9.5 mm. (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la norma NPT 400.037.

El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturadas, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas y resistentes.

El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

El agregados fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la norma NPT 400.037.

1.3.1.1 Requisitos de uso:

- a. La granulometría deberá ser preferentemente contigua, con valores retenidos en las mallas No4, No8, No16, No30, No50 y No100 de la serie Tyler.
- b. El agregado no deberá retener mas del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- c. En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

Cuadro 1.3

MALLA	% que pasa
3/8"	100
No 4	95-100
No 8	80-100
No 16	50-85
No 30	25-60
No 50	10-30
No100	2-10

El módulo de fineza del agregado se mantendrá dentro del límite de mas o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2,35 y 3,15.

El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la norma NPT 400.013.

1.3.1.2 Situaciones excepcionales: Podrá emplearse agregado fino que no cumpla con los requisitos indicados si:

- a. La coloración en el ensayo se debe a la presencia de pequeñas partículas de carbón, o partículas similares.
- b. Realizado el ensayo, la resistencia a los siete días de morteros preparados con dicho agregado no sea menor del 95% de la resistencia de morteros similares preparados con otra porción de la misma muestra de agregados finos previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio.

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder a los siguientes límites:

Cuadro 1.5

- . Lentes de arcilla y partículas deleznales	3%
- . Material más fino que la malla No 200:	
a. Concreto Sujeto a abrasión.	3%
b. Otros concretos.	5%
- . Carbón:	
a. Cuando la apariencia superficial del Concreto es importante.	0.5%
b. Otros concretos.	1%

1.3.2 Granulometría del agregado fino

Con este ensayo se busca averiguar la distribución del agregado fino

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados afectan las

proporciones relativas de los agregados, así como la trabajabilidad, porosidad y contracción del concreto.

Los tamices estándar usados para determinar la gradación de los agregados finos son las N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100. Los requisitos estipulados en las especificaciones ASTM C33, permiten una relativa amplitud de variación en la granulometría del agregado fino.

Las cantidades de agregado fino que pasen las mallas No8, 50 y 100 afectan la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del concreto. En ambas especificaciones se permite que la malla No50 deje pasar del 10 al 30% cuando el vaciado fácil, o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como los pavimentos. Pero si se desea un acabado con textura superficial tersa en pisos con acabados a mano; se usará un agregado fino tal que pase cuando menos el 15% por el tamiz N°50 y 30% o más por el tamiz N°100.

Otros requisitos de estas especificaciones:

- a. Que el agregado fino no tenga mas del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.
- b. Que el módulo de finura no sea menor de 2.3 o mayor de 3.1, ni varíe más de 0.20 del valor supuesto al elegir las proporciones del concreto. Si se excede de este valor, el agregado fino se rechaza, amenos que se hagan los ajustes pertinentes en las proporciones de agregado fino y grueso.

Se define como módulo de fineza, ya sea del agregado fino o grueso, la suma de los porcentajes acumulados de los agregados retenidos en las mallas estándar, divididas por 100. Es un indicador de la finura a un agregado: cuando mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

El Reglamento Nacional de Construcción especifica la granulometría de la arena en concordancia con las normas ASTM.

Límite de granulometría según la norma ASTM

Malla		Porcentaje que pasa (acumulado)		
3/8"	9.5 mm	100		
N°4	4.75 mm	95	a	100
N°8	2.36 mm	80	a	100
N°16	1.18 mm	50	a	85
N°30	600 µm	25	a	60
N°50	300 µm	10	a	30
N°100	150 µm	2	a	10

Fuente: ASOCEM

1.3.2.1 Procedimiento: NTP 400.012 (ASTM C33)

- Pesar 500 gr. libre de impurezas.
- Antes de proceder al tamizado de la muestra, verificar el estado y orden de las mallas esta deberá tener el orden de acuerdo al tamaño de la abertura de la siguiente manera: N4, N8, N16, N30, N50, N100 y fondo.
- Zarandear por espacio de 2 minutos.
- Luego pesar el material retenido en cada malla.
- Con los datos obtenidos realizar los cálculos correspondientes de acuerdo al cuadro que se presenta.

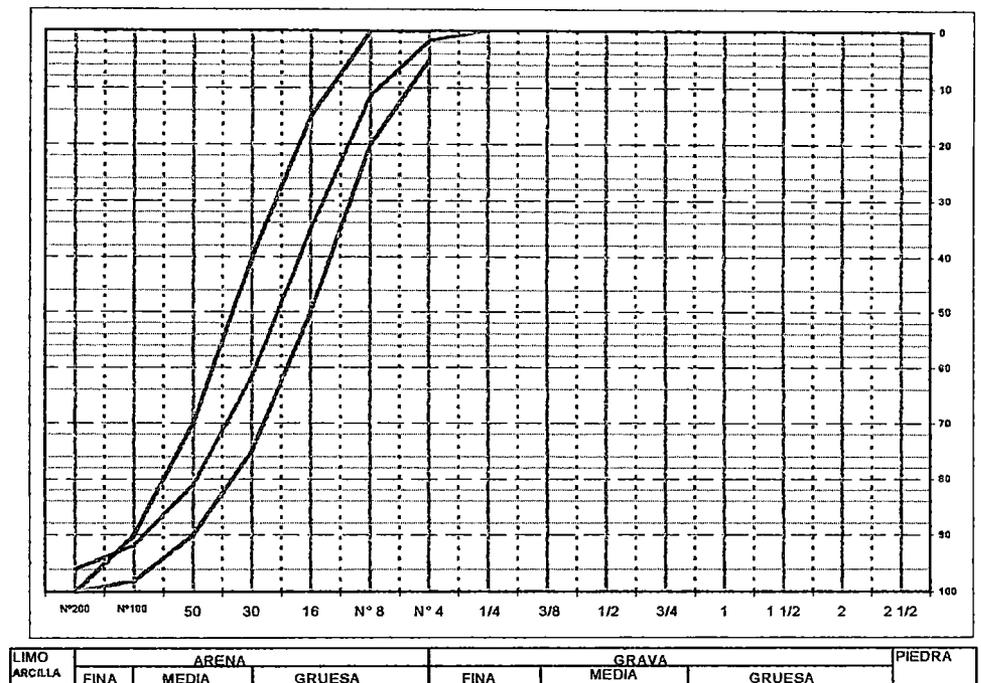
1.3.2.2 Resultados de Laboratorio:

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

TAMIZ ASTM	Peso (gr) Arena	%Retenido Arena	%Retenido Acumul. Arena
2 ½			
2			
1 ½			
1			
¾			
½			
3/8			
¼			
Nº 4	8.5	1.70	1.70
Nº 8	48.5	9.70	11.40
Nº 16	118	23.60	35.00
Nº 30	132.5	26.50	61.50
Nº 50	97.5	19.50	81.00
Nº 100	54	10.80	91.80
Nº 200	0	0.00	91.80
Fondo	41	8.20	100.00
Total	500	100.00	

El Módulo de Finura del Agregado Fino (Arena) es: 2.82

1.3.2.3 Gráfico del análisis granulométrico:



Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

1.3.3 Peso Específico y Porcentaje de Absorción: NPT 400.022.

1.3.3.1 **Peso Específico**, es la relación de su peso al peso de un volumen igual de agua. Se usa en algunos cálculos para el control y proyecto de mezclas: por ejemplo, en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. No es una medida de calidad del agregado. La mayor parte de los agregados de peso normal tienen pesos específicos comprendidos entre 2.4 y 2.9.

Peso específico de masa: Es la relación entre el peso de la masa del agregado y el volumen total (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material). Se calcula de la manera siguiente:

$$P_e = W_o / (V - V_a)$$

- P_e Es el peso específico de masa
 W_o Es el peso en el aire de la muestra secada al horno en gramos
 V Es el volumen del frasco en centímetros cúbicos
 V_a Es el peso en gramos o volumen en cm^3 del agua añadida al Frasco.

Peso específico de masa saturada superficialmente seca: Es la relación entre el peso del agregado saturado superficialmente seco y el volumen del mismo. Se calcula de la manera siguiente:

$$P_{e,s} = 500 / (V - V_a)$$

- $P_{e,s}$ Es el peso específico de masa del material saturado con superficie seca

Peso específico aparente : Es la relación entre el peso de la masa del agregado y el volumen impermeable de masa del mismo. Se calcula de la manera siguiente:

$$P_{e,a} = W_o / [(V - V_a) - (500 - W_o)]$$

$P_{e,a}$ Peso específico aparente

1.3.3.2 **Porcentaje de absorción**, es la cantidad de agua que puede absorber un agregado, expresado en porcentajes es:

$$\% \text{ de absorción} = (A - S) / S * 100$$

A = Peso del agregado saturado con superficie seca.

S = Peso del agregado seco.

Deben determinarse la absorción y la humedad superficial de manera que la proporción de agua en el concreto pueda controlarse y se puedan determinar los pesos correctos de las mezclas. La estructura interna de las partículas de un agregado están formadas por materia sólida y huecos que pueden contener agua o no.

- Secado al horno: Completamente absorbentes.
- Secado al aire: La superficie de la partícula está seca pero algo húmeda en su interior, por lo tanto son algo absorbentes.
- Saturados y superficialmente secos (s.s.s): No absorben ni aumentan agua en la mezcla.
- Húmedos o mojados: Contienen un exceso de humedad en la superficie.

1.3.3.3 Procedimiento:

Método del Balón. NPT 400.022.

- Cuartear el material y tomar de ella aproximadamente 3 Kg.
- Luego remojar el material durante 24 hr.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- Al día siguiente eliminar el agua del recipiente, para luego esparcir el material sobre una superficie plana.
- Comprobar si la muestra esta saturada superficialmente seca (S.S.S.), para ello echar en un molde tronco-cónico metálico apisonando con 25 golpes sin compactar el material; si al levantar el molde la muestra queda exacta al modelo del molde, esto significa que falta secar, pero si queda desmoronado, significa que ha secado demasiado, y si queda desmoronado parcialmente y de punta significa que la muestra está S.S.S.
- Pesar 500 gr del material S.S.S. y luego echar en un balón de vidrio para determinar su volumen por desplazamiento.
- Pesar el balón con el material S.S.S.
- Echar agua hasta 500 cm³ a temperatura ambiente de 23°C, para luego sacar el aire que se encuentra en dicho frasco, para ello agitar suavemente el balón.
- Pesar el balón con agua y material S.S.S.
- Secar el material, colocar en el horno a una temperatura de 100°C a 110°C.
- Determinar el peso de la muestra secada al horno.
Con los datos obtenidos determinar el peso específico.

1.3.3.4 Resultado de laboratorio:

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA (MÉTODO DEL BALON)

Propiedad	Und	Resultado
Peso Especifico	gr/cm ³	2.59

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA ARENA

Propiedad	Und	PROMEDIO
Porcentaje de Absorción	%	1.63

1.3.4 Contenido de Humedad: NPT 400.022

Es el contenido de agua dentro de un agregado expresado en porcentaje:

$$\% \text{humedad} = (H - S) / S * 100$$

H = Peso húmedo del agregado.

S = peso seco del agregado.

1.3.4.1 Procedimiento:

- Pesar 500 gr. del material libre de impurezas en estado natural.
- Colocar en un recipiente metálico y secar al horno durante 24 hr. A 100°C a 110°C.
- Pesar la muestra secada al horno y determinar la cantidad de agua de la muestra por diferencia de peso, para expresarla en porcentaje en peso seco.

1.3.4.2 Resultado de laboratorio:

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA

Propiedad	Und	Resultado
Contenido de Humedad	%	0.74

1.3.5 Peso Unitario Suelto y compactado. NTP 400.017

El Peso Unitario Suelto (P.U.S.) se define como:

$$P.U.S = \text{Peso material suelto} / \text{Volumen del balde}$$

Sirve para calcular el volumen del material a utilizar en una obra incluyendo perdidas por esponjamiento al comprarlo. Par obtener el P.U.S., la muestra deberá estar relativamente seca ya que estando húmeda se esponja.

El Peso Unitario Compactado (P.U.C.) se define como:

$$P.U.C. = \text{Peso material compactado} / \text{Volumen del balde}$$

Sirve para conocer el peso de un cierto volumen agregado, minimizando sus vacíos al compactar la muestra.

1.3.5.1 Procedimiento:

- Cuartear adecuadamente el material.
- Llenar el balde metálico (1/10) pie³ con el material y enrasarlo; luego pesarlo para el cálculo de peso unitario suelto.
- Llenar el balde con material en 3 capas, en cada capa aplicar 25 golpes con una varilla de D=5/8" con punta lisa y redondeada; y con 60cm de longitud; cuando se compacta la primera capa no golpear el fondo del recipiente con fuerza, al compactar las últimas capas solo se emplea la fuerza necesaria para que la barra penetre la última capa de agregado; luego enrasar y pesar para obtener el peso unitario compactado.
- Peso el balde metálico.

Al fin de determinar la capacidad o volumen exacto del balde se llenará con agua y se pesará; obteniendo el peso de agua contenida se determina el volumen.

1.3.5.2 Resultados del laboratorio:

PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA (P.U.S.)

Propiedad	Und	Resultado
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1734.25

PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA ARENA (P.U.C.)

Propiedad	Und	Resultado
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1926.89

1.4 Propiedades del Agregado Grueso.

1.4.1 Introducción:

De acuerdo a la Norma NTP 400.011 se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NPT 4.75 mm (No4) y cumple los límites establecidos en la norma NPT 400.037.

El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación del concretos livianos podrá ser natural o artificial. Se les llama también áridos.

1.4.1.1 Requisitos de uso: El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosas.

Las partículas deberán estar químicamente estables y deberá estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la norma NPT 400.037 ó en la norma ASTM C33. es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- a. La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- b. La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.
- c. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- a. Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados;
- b. Un tercio del peralte de las losas;

c. Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzos; paquetes de barras, torones, o ductos de preesfuerzo.

En elementos de espesor reducido, o ante la presencia de gran cantidad de armadura, se podrá, reducir el tamaño máximo nominal del agregado grueso, siempre que se mantenga una adecuada trabajabilidad, se cumpla con los asentamientos requeridos y se obtenga las propiedades especificadas para el concreto.

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores:

Cuadro 1.6

.-Arcillas	0.25%
.-Partículas deleznable	5.00%
.-Material más fino que la malla No200	1.00%
.-Carbón y lignito:	
a. Cuando el acabado superficial del Concreto es de importancia.	0.50%
b. Otros concretos.	1.00%

El agregado grueso cuyos límites de partículas perjudiciales excedan a los indicados, podrá ser aceptado siempre que un concreto, preparado con agregado de la misma procedencia, haya dado un servicio satisfactorio como ha estado expuesto de manera similar al estudiado.

El lavado de las partículas de agregado grueso se deberá hacer con agua preferentemente potable. De no ser así, el agua empleada deberá estar libre de sales, materias orgánica, o sólidos en suspensión.

1.4.1.2 Agregado grueso empleado en la tesis:

Según la Norma NTP 400.037 el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso. En este trabajo de investigación se utilizó el Agregado grueso de la Cantera La Gloria que posee el tamaño máximo de 1”.

Según la misma Norma el tamaño nominal máximo es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido y la piedra La Gloria posee un tamaño nominal máximo de 3/4".

1.4.2 GRANULOMETRIA Y MODULO DE FINEZA (NTP 400.012)

Con este ensayo determinaremos los diferentes diámetros de las partículas que componen el agregado grueso, así como los porcentajes que ocupan en la muestra representativa del agregado. Los tamices estándar usados para determinar la gradación del agregado grueso son : 4", 3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8". La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

Cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado y se calcula como la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices; 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, todo esto dividido entre 100.

En algunos casos es necesario realizar correcciones en nuestros agregados según la tendencia que posea la curva de los agregados, esto es determinado por los husos que nos proporciona las Normas ASTM C-33.

La muestra se tomará en base al siguiente cuadro:

Tamaño máximo de las partículas (mm)	Peso aproximado de la muestra (Kg)
9.51 mm - 3/8"	2
12.7 mm - 1/2"	4
19.0 mm - 3/4"	8
25.4 mm - 1"	12
37.5 mm - 1 1/2"	16
50 mm - 2"	20
63 mm - 2 1/2"	25
75 mm - 3"	45
90 mm - 3 1/2"	70

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

1.4.2.1 Procedimiento:

El procedimiento de ensayo es similar al descrito para la granulometría del agregado fino.

1.4.2.2 Resultados de laboratorio:

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA)

TAMIZ ASTM	Peso (gr) Arena	%Retenido Arena	%Retenido Acumul. Arena
2 ½			
2			
1 ½			
1	321	2.68	2.68
¾	4563.5	38.03	40.71
½	651.5	50.44	91.14
3/8	867.5	7.23	98.37
¼	169.5	1.41	99.79
Nº 4	15	0.13	99.91
Nº 8	6.5	0.05	99.97
Nº 16		0.00	
Nº 30		0.00	
Nº 50		0.00	
Nº 100		0.00	
Nº 200		0.00	
Fondo	4	0.03	100.00
Total	11998.5	100.00	

EL Módulo de Finura del Agregado Grueso (Piedra) es: 7.39

1.4.2.3 TAMAÑO MÁXIMO (NTP 400.011)

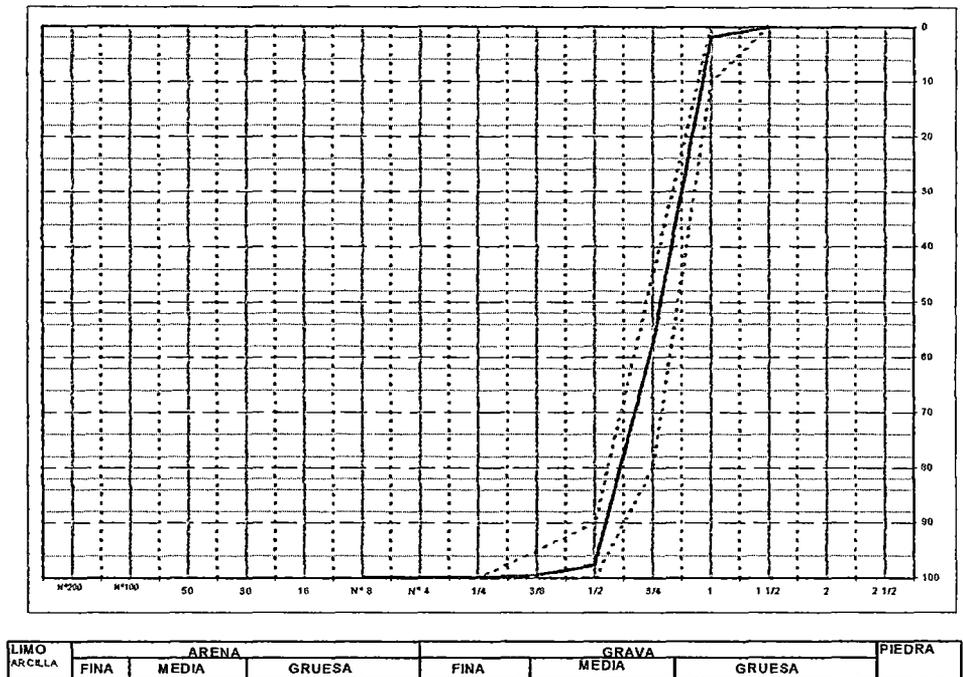
El tamaño máximo es la menor abertura de la malla por la que pasa todo el agregado

En el caso del agregado grueso La Gloria tiene un tamaño máximo de 1 1/2".

1.4.2.4 TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (NTP 400.011)

Es la abertura de la malla que produce el primer retenido de agregado. En este caso el tamaño nominal máximo del agregado La Gloria es 1".

1.4.2.5 Gráfico del análisis granulométrico:



1.4.3 **Peso Específico y Porcentaje de Absorción.** NTP 400.021

1.4.3.1 **Peso Específico,** Como ya se explicó párrafos anteriores el peso específico es la relación a una temperatura estable , la masa de un volumen unitario del material a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas. Los principios de este ensayo es el mismo que para el agregado fino.

Peso específico de masa: Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) a la masa en el aire de igual densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Peso específico de masa saturada superficialmente seca: Lo mismo que peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

1.4.3.2 **Porcentaje de absorción**, Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en agua, se expresa como porcentaje del peso.

1.4.3.3 Procedimiento:

Método de la balanza hidrostática. NTP 400.021.

- Seleccionar el material por el método del cuarteo, aproximadamente 6 Kg del agregado rechazando todo material que pase la malla N4.
- Después de eliminado todas las impurezas, polvos u otros materiales extraños de la superficie del material se seca el material y se pone a remojar en una vasija con agua por espacio de 24 hr.
- Al día siguiente escurrir el agua del recipiente y echar el material sobre una mesa, enseguida con la ayuda de una franela secar la superficie del agregado, a fin de tener materiales S.S.S.
- Pesamos 5 Kg del material secado.
- Calibrar la balanza hidrostática sin agua, llenar de agua el recipiente, y pesar la canastilla dentro del agua, anotar el peso cuando deje de gotear la salida del deposito de la balanza hidrostática.
- Pesar el material dentro de la canastilla sumergida.
- Poner el material pesado en un recipiente metálico a fin de colocar este dentro del horno durante 24 hr.
- Obtener el peso de la muestra secada al horno.
- Realizar los cálculos de acuerdo al cuadro adjunto.

1.4.3.4 Resultado del laboratorio:

PESO ESPECÍFICO DE LA PIEDRA (METODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA)

Propiedad	Und	Resultado
Peso Específico	gr/cm ³	2.70

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA

Propiedad	Und	Resultado
Porcentaje de Absorción	%	0.74

1.4.4 Contenido de Humedad: NPT 400.021

Este ensayo se realiza para hallar la cantidad en porcentaje de humedad que contiene el agregado en su estado natural. Este dato nos sirve para poder hacer correcciones en la cantidad de agua cuando realizamos nuestro diseño de mezclas.

1.4.4.1 Procedimiento:

El procedimiento es similar al descrito en el mismo ensayo del agregado fino.

1.4.4.2 Resultados del laboratorio:

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PIEDRA

Propiedad	Und	Resultado
Contenido de Humedad	%	0.45

1.4.5 Peso Unitario Suelto y Compactado. NPT 400.017

Las definiciones son las mismas que las del agregado fino .

1.4.5.1 Procedimiento:

El procedimiento es similar al descrito en el mismo ensayo del agregado fino. Y según la tabla descrita en el ensayo de Peso unitario del agregado fino se deduce que el recipiente a utilizar es el de $1/3 p^3$.

1.4.5.2 Resultado del laboratorio:

PESO UNITARIO SUELTO DE LA PIEDRA (P.U.S.)

Propiedad	Und	Resultado
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1454.04

PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA PIEDRA (P.U.C.)

Propiedad	Und	Resultado
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1591.91

1.5 Granulometría del Agregado Global

El agregado global, se transforma en una necesidad por la importancia que adquiere conocer la mejor combinación de los agregados, el porcentaje tanto del agregado grueso como el agregado fino, para obtener una mezcla que cumpla óptimamente con las propiedades del concreto.

Para obtener esta mejor combinación realizaremos dos métodos de ensayos, para poder determinar el porcentaje adecuado de arena, los métodos son el método de compacidad y el Método de Resistencia a la Compresión Máxima.

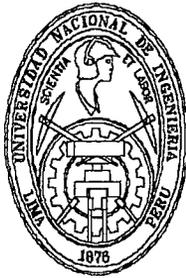
En los ensayos realizados y mostrados en el capítulo IV, se determino que el porcentaje de arena era del 48%, y de piedra del 52%.

1.5.1 Resultado del método del agregado global:**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL**

TAMIZ ASTM	% PIEDRA 52	% ARENA 48	% Retenido Combinación	% Ret. Acum. Combinación
2 ½				
2				
1 ½				
1	1.39		1.39	1.39
¾	19.78		19.78	21.17
½	26.23		26.23	47.40
3/8	3.76		3.76	51.15
¼	0.73		0.73	51.89
Nº 4	0.07	0.82	0.88	52.77
Nº 8	0.03	4.66	4.68	57.45
Nº 16	0.00	11.33	11.33	68.78
Nº 30	0.00	12.72	12.72	81.50
Nº 50	0.00	9.36	9.36	90.86
Nº 100	0.00	5.18	5.18	96.05
Nº 200	0.00	0.00	0.00	96.05
Fondo	0.02	3.94	3.95	100.00

El módulo de finura del agregado global es de: 5.20

1.5.2 Gráfico del agregado global:



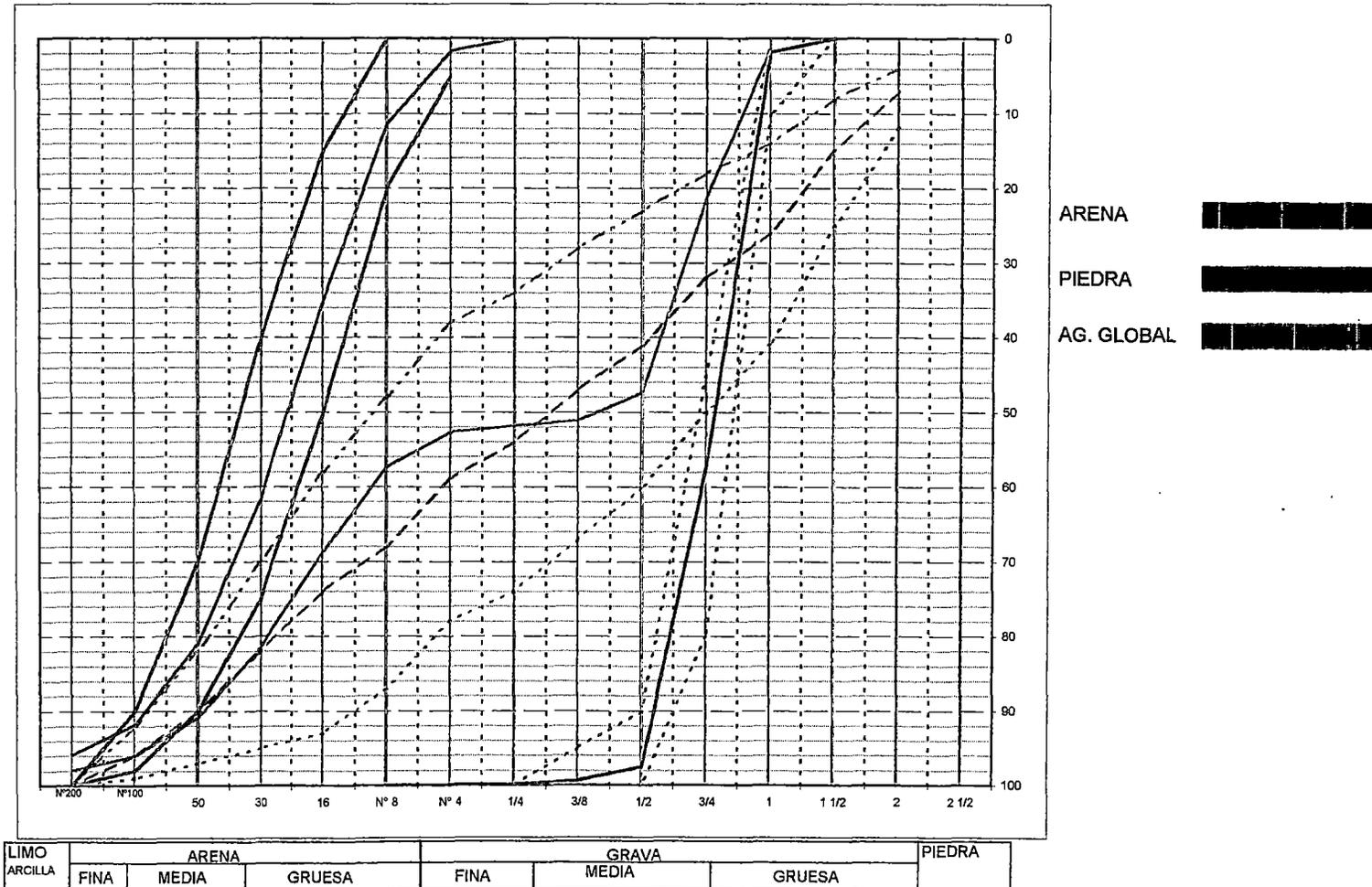
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GLOBAL

TAMIZES ASTM

Grafico 1.5



1.6 Agua.

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC 334.088 y ser de preferencia potable.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas, calcáreas, minerales ya sea carbonatada o minerales; aguas provenientes de minas o relaves, aguas que contengan residuos industriales, aguas con contenido de sulfatos mayores del 1%, agua que contenga algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües, aguas que contengan azúcares o de derivados. Igualmente aquellas agua que contengan porcentajes significativos de sales de magnesio, sodio o potasio disueltas en todos aquellos casos en donde la reacción álcali-agregado es posible.

La calidad del agua, determinada mediante análisis del laboratorio, cumple con los valores que a continuación se presentan:

	Máxima
Cloruros	300ppm
Sulfatos	300ppm
Sales de Magnesio	150ppm
Sales solubles totales	1500ppm
pH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500ppm
Materia orgánica	10ppm

La selección de las proporciones finales de la mezcla de concreto se basará en resultados de ensayos de resistencia en compresión en los que se ha elegido en la preparación del concreto, agua de la fuente elegida.

Sales u otras sustancias dañinas que pudieran estar presentes en los agregados y/o aditivos, deberán sumarse a aquellas que pudieran aportar el agua de mezclado a fin de evaluar el contenido total de

sustancias inconvenientes que pudieran ser dañinas al concreto, acero de refuerzo ó elementos embebidos.

El agua de mar sólo podrá usarse en la preparación del concreto, si se sigue la recomendación de que la mezcla tenga un contenido mínimo de cemento de 350Kg/m³, una relación agua-cemento máxima de 0.50, consistencia plástica y un recubrimiento al acero de refuerzo no menor de 70 mm.

CAPITULO II

ESTUDIO DE LA CORROSION EN EL CONCRETO

2.1 Durabilidad:

Antes de entrar de lleno a lo que son los procesos en si de la corrosión es necesario tener una idea clara de un término que va ser usado frecuentemente, y que es lo que engloba a todo este estudio de la corrosión y es la "durabilidad".

2.1.1 Definición.

Una larga vida de servicio es considerada sinónimo de durabilidad. Puesto que la durabilidad en un grupo de condiciones dadas no necesariamente significa durabilidad en otras condiciones, se acostumbra incluir una referencia general al medio ambiente cuando se define la durabilidad. Según el comité ACI 201, la durabilidad del concreto de cemento Pórtland se define como su capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier proceso de deterioro; es decir, el concreto durable retendrá su forma original, su calidad y su servicio, cuando se exponga a su medio ambiente.

En los últimos 20 años, el término "durabilidad" se ha estado escuchando con más frecuencia en la rama de la ingeniería civil. Países industrializados como Estados Unidos, algunos de Europa (España, Francia, Reino Unido) y Japón, han tomado la durabilidad como un tema de gran importancia, invirtiendo sumas millonarias en estudio e investigación en esta área.

En América Latina, un esfuerzo similar se realizó en el año 1997 al presentarse el informe de la Red Temática DURAR, en el cual se presentaron algunos conceptos básicos sobre vida útil, evaluación, mantenimiento, reparación y/o rehabilitación de obras de concreto armado dañadas principalmente por corrosión de la armadura.

DURAR definió la vida útil de una estructura como "el periodo de tiempo durante el cual la estructura conserva todas las características de funcionalidad, seguridad, resistencia y aspecto externo, con un nivel de seguridad suficiente".

Debido a las experiencias reiteradas de deterioro acelerado de las estructuras de concreto en todo el mundo, el concepto de durabilidad ha sufrido un cambio que está relacionado íntimamente con el costo final del producto y la vida útil de la estructura. Existen tres parámetros que se manejan en la concepción del concreto durable: condiciones de exposición, condiciones de servicio y prácticas constructivas adecuadas. Éstos son, en definitiva, los tres aspectos básicos que hay que considerar en la elaboración de un concreto de larga vida.

2.1.2 Importancia.

Se acepta generalmente ahora que al diseñar estructuras, las características de durabilidad de los materiales considerados deberán evaluarse tan cuidadosamente como otros aspectos tales como las propiedades mecánicas y el costo inicial. Primeramente, hay una apreciación mejor de las implicaciones socio-económicas de durabilidad. Cada vez más, los costos de reparación y de sustitución de las estructuras que se requieren por falta de material, se han convertido en una parte importante del presupuesto total de la construcción. Por ejemplo, se calcula que en los países industrialmente desarrollados, más de 40% de los recursos totales de la industria de la construcción se aplican a la reparación y al mantenimiento de las estructuras existentes, y menos del 60% a las nuevas instalaciones.

La escalada de los costos de sustitución de las estructuras y el creciente énfasis en el costo del ciclo de vida y no del costo inicial, están obligando a los ingenieros a estar concientes de la durabilidad. En segundo lugar, se entiende que existe una íntima relación entre la

durabilidad de los materiales y la ecología. La conservación de los recursos naturales haciendo durar más los materiales es, después de todo, una acción ecológica. Igualmente los usos del concreto se han extendido a ambientes crecientemente hostiles, tales como las plataformas marinas en el Mar del Norte, los contenedores para almacenar gases líquidos a temperaturas criogénicas y recipientes a reacción de alta presión en la industria nuclear. Las fallas recientes de estructuras marinas de acero en Noruega y en Newfoundland, demostraron que tanto los costos humanos como los económicos, asociados con fallas prematuras y repentinas del material de construcción, pueden ser muy altos.

2.1.3 Corrosión en infraestructura de concreto

El concreto es el material de construcción más utilizado en las sociedades industrializadas. Sus propiedades mecánicas y su poca necesidad de mantenimiento lo han hecho el material más competitivo entre todos. Sin embargo, en ambientes muy agresivos, su durabilidad se acorta debido a la corrosión de la armadura de acero.

Las estructuras de concreto son regularmente definidas como estructuras durables con un bajo costo de mantenimiento. Sin embargo, en las últimas tres décadas se ha observado un incremento de los agrietamientos y delaminaciones de elementos de concreto relacionados con la corrosión de la armadura de acero, en el ámbito mundial. La cooperación del concreto con el acero de refuerzo (o pre-esfuerzo) se basa en que el concreto provee al refuerzo de una protección tanto química como física en contra de la corrosión. La protección química se debe a la alcalinidad del concreto, la cual produce una capa de óxido (del orden de un par de nanómetros) en la superficie del acero, impidiendo que éste continúe corroyéndose. A este fenómeno se le denomina pasividad, ya que la capa de óxido evita la propagación de la corrosión del acero.

2.2 Introducción al estudio de la corrosión en el concreto.

Por lo general, las estructuras de concreto son muy duraderas, existiendo elementos de concreto de tiempos muy antiguos que siguen estando en uso normal. El concreto de buena calidad posee una considerable resistencia a la mayor parte de los agentes químicamente agresivos que se presentan en la naturaleza. Convenientemente preparado, puesto en obra y curado, resiste casi todos los tipos de terrenos y aguas subterráneas.

La corrosión del concreto constituye un caso excepcional; su aparición es lógica en las obras marítimas, en obras de la industria química o "en las cimentaciones bañadas por aguas agresivas".

En un medio húmedo o saturado de líquido agresivo, el concreto sufre daños, su superficie se hace porosa y el conjunto se afloja. Si la acción agresiva es intensa y duradera, los daños pueden producir el colapso de la estructura de concreto.

El campo de la corrosión del concreto es de naturaleza compleja, pudiendo atribuirse la aparición de un fenómeno determinado a la acción simultánea de varios factores. *La corrosión del concreto es un proceso complejo que depende, tanto de las propiedades del medio agresivo, de la concentración de sus ácidos, bases o sales, como de las distintas propiedades del concreto.*

La magnitud de la corrosión del concreto depende fundamentalmente del medio exterior, es decir, de las sustancias agresivas, tales como, por ejemplo: la composición química de la capa freática, de las propiedades de las rocas en contacto con dicha capa (terrenos), de la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, de las condiciones climáticas, de las condiciones microbiológicas, etc. También es necesario citarse los factores físicos externos como: Temperatura, velocidad de las corrientes subterráneas, su presión, etc. , que acrecientan o aminoran la acción agresiva.

Son perjudiciales para el concreto las aguas blandas o puras, los ácidos, las sales y sus soluciones en agua. Los líquidos que contienen iones

agresivos aparecen en cualquier sitio de la naturaleza. Los iones agresivos pueden realizar su acción destructiva aisladamente o formando grupos.

2.3 Procesos:

Debemos distinguir entre la “corrosión física”, causada principalmente por el desgaste mecánico, efectos de heladas, etc., y que generalmente , se designa como erosión, y los procesos químicos de corrosión.

Según las reacciones fisico-químicas, podemos distinguir tres tipos clásicos de acción:

a). Corrosión por lixiviación: Por la acción extractiva o de lavado que sufren ciertos componentes de la pasta endurecida de cemento.

Esta corrosión sucede por la acción del agua de imbibición del concreto, pero puede ser causada también porque la superficie de concreto se ponga en contacto con aguas excesivamente blandas; este tipo de corrosión puede desarrollarse intensamente en concretos porosos, mientras que en concretos compactos casi nunca es observada.

b). Corrosión por reacción de cambio iónico y separación de las combinaciones fácilmente solubles de la pasta de cemento endurecido.

Debido a una reacción de cambio iónico entre los componentes de la pasta endurecida del cemento y las sustancias existentes en el agua agresiva, se forman combinaciones fácilmente solubles que, posteriormente, son arrastradas en disolución por una corriente de agua.

c). Corrosión por expansión: debida, generalmente, a la formación de nuevos compuestos estables en la masa de cemento endurecido.

Es el resultado de ciertas sales. En el momento inicial, el concreto se refuerza. Sus poros y huecos se rellenan de cristales de nueva formación, aumentando su compacidad. Pero, como esos cristales siguen creciendo, ejercen una acción expansiva y terminan destruyendo el concreto.

2.3.1 CORROSION PRODUCIDA POR EXPANSIONES

2.3.1.1 La acción agresiva del ión sulfato

La mayor parte de los procesos de destrucción, causados por formación de sales, son debido a la acción de los sulfatos.

En la totalidad de estudios sobre la corrosión se ha prestado la máxima atención al ataque por los sulfatos, de forma que la palabra “ataque químico” y “ataque por sulfatos” han llegado a ser sinónimas.

Los sulfatos son las sales del anión-sulfato SO_4^{2-} . Este anión puede estar presente en las aguas residuales industriales en forma de disolución diluida de ácido sulfúrico; en las aguas del subsuelo, pocas veces aparece el sulfúrico libre, siendo mucho más frecuentes sus sales, es decir, los sulfatos.

Los sulfatos más peligrosos para el concreto son los amónicos, cálcico, magnésico y sódico. Los sulfatos potásicos, cúpricos y aluminico son menos peligrosos. El sulfato bórico y el de plomo son insolubles y por lo tanto inofensivos para el concreto.

A). Formación de sulfatos:

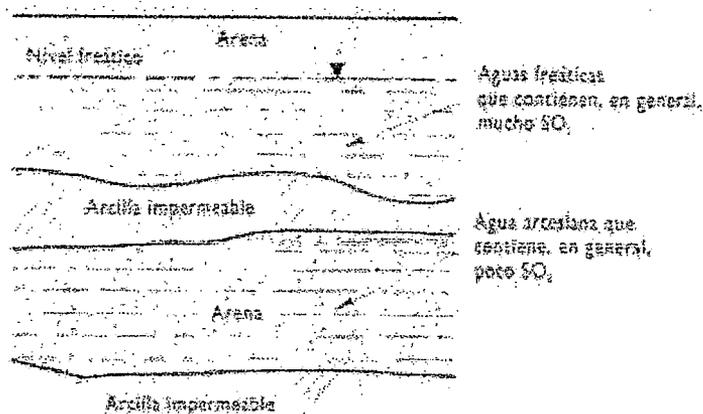
a.) Formación de sulfatos en la naturaleza.

El ión sulfato aparece en mayor o menor cuantía en todas las aguas libres o subterráneas, y principalmente en el agua de mar, además de existir en estratos mineralizados. El contenido de ión sulfato en las aguas subterráneas es especialmente considerable en los terrenos arcillosos. En la arena solo se encuentra como un aportador exterior.

Como en los terrenos arcillosos es frecuente la existencia de yesos, piritas y limonitas procedentes de éstas, puede

observarse en parte de dichos terrenos una formación natural de sulfatos.

La acción del ácido sulfúrico sobre la cal o el sodio de los feldespatos, hace que aparezcan sulfatos cálcicos o sódicos muy solubles, que atacan al concreto. De esta forma se crean los sulfatos, o llegan éstos a las capas freáticas.



Distintos grados de agresividad de la capa freática y del agua artesiana. 8

FUENTE: IMRE BICZOK

Figura 2.1 Los distintos grados de agresividad en el suelo

El contenido de sulfatos de las aguas del subsuelo no sólo depende del yeso y materias orgánicas, sino también de los tres factores siguientes:

- Ventilación del terreno;
- Velocidad de las corrientes del agua freática.
- Posibilidad de evaporación.

El contenido de sulfatos del terreno oscila, en general, con mayor amplitud que el del agua. Según puede verse en el gráfico..., la zona llamada de lixiviación es la más pobre en sulfatos, puesto que estos son arrastrados por las aguas progresivamente, reuniéndose en la llamada

zona de acumulación. Una parte considerable del contenido soluble de sulfatos, de la capa superficial, es absorbida por la vegetación. En un terreno arcilloso que contenga sodio, la zona de acumulación está situada más cerca de la superficie, y en un terreno arenoso dicha zona está a profundidad mayor .

b.) Formación de sulfatos por procesos biológicos.

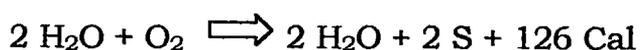
Los sulfatos existentes en los terrenos pueden provenir no solo de los procesos químicos, sino también de la descomposición biológica de sustancias orgánicas albuminoideas que contengan azufre en las moléculas.

El abonado de los terrenos de labor puede también aumentar el contenido de sulfatos del subsuelo. Además de que los abonos naturales y artificiales contienen sulfatos, el cultivo aumenta la ventilación del subsuelo y los surcos incrementan la oxidación del azufre, de tal forma que, en un terreno cultivado, el contenido de sulfatos del subsuelo puede ser superior en un 100% al contenido de sulfatos de un terreno baldío.

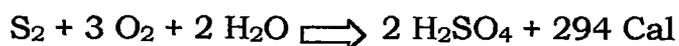
Si un terreno de labor es urbanizado o edificado, puede considerarse en el proyecto un contenido de sulfatos de las aguas del subsuelo de un 15 a un 20% menor que el determinado experimentalmente en la toma de muestras de las mismas, puesto que, al ser edificado el terreno, cesa el abonado del mismo.

Los pantanos, cenegales, lagos de poca profundidad y aguas superficiales son ricos en iones sulfato. En estas aguas, así como en las aguas encenegadas de pozos no usados, el ácido sulfhídrico (H_2S) resultante de la descomposición de la materia orgánica y, disuelto en el agua, actúa como ácido débil. Es mucho más activo

cuando, por la acción de las bacterias aerobias llamadas "tiobacterias", se transforman en sulfatos; son conocidas como bacterias formadoras de sulfatos las de los géneros *beggiatoa* y *Thiotrix.*, así como las de los géneros *Chromatium* y *Chorobium* de color púrpura y, en ciertos casos, verdes. La oxidación se realiza gradualmente. Las dos reacciones más importantes son la debida a la acción de las bacterias verdes:



y la debida a la acción de las tiobacterias de color púrpura:



La formación de ácido sulfúrico no aumenta la acidez del terreno en los casos en que existan agentes neutralizantes entre los componentes del suelo.

c.) Formación de sulfatos por contaminación industrial

En las grandes fábricas e instalaciones industriales existen grandes pilas de escorias y de carbón. Bajo dichas pilas, la contaminación, por sulfatos, del terreno o de la capa freática es muy considerable, variando, en general entre los 1000 y 2000 mg de SO_4/l . La oxidación de las piritas y del azufre en el carbón o en las escorias tiene lugar en la forma descrita anteriormente.

Una acumulación de escorias de carbón puede según su contenido de azufre, aumentar en distinta medida el contenido de sulfatos del agua del subsuelo, convirtiéndola en agresiva al concreto. Esta acción contaminadora de las escorias puede prolongarse durante varios decenios, pues, al decomponerse el

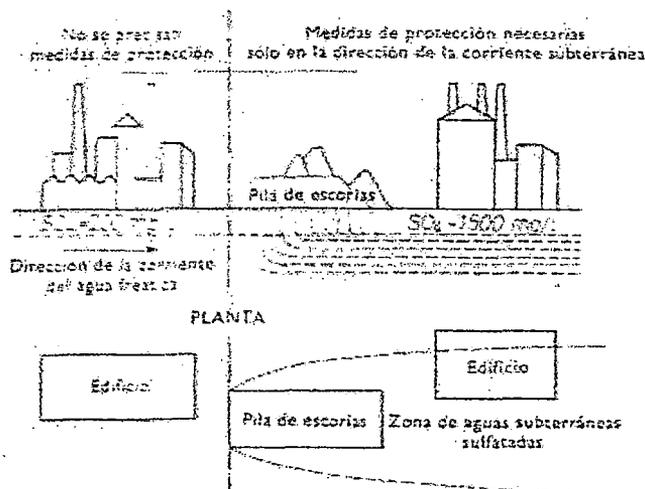
material, se reduce a polvo, con lo que aumenta su superficie, pudiendo las aguas pluviales arrastrar los componentes químicos con mayor intensidad.

En la ordenación de poblaciones, si se incluye en ellas un polígono industrial, debe preverse la protección de los cimientos y construcciones subterráneas, aunque la escasa agresividad natural del terreno no parezca justificarlo en un principio.

Si existe una contaminación local, las condiciones hidrogeológicas pueden hacer que, sólo en la zona acuífera y en la dirección del flujo subterráneo, sea necesario tomar medidas de protección para las cimentaciones.

La contaminación por sulfatos debida a los humos de la combustión es más intensa en las cercanías de las chimeneas de las fábricas, y a sotavento de éstas, disminuyendo gradualmente la distancia. La intensidad y la extensión de la contaminación depende de la frecuencia y cantidad de los humos, y la rapidez de la disminución de la contaminación depende de las condiciones de los vientos.

LA CORROSIÓN DEL HORMIGÓN EN MASA Y ARMADO



Necesidad de las medidas de protección a causa de contaminación por sulfatos.

FUENTE: IMRE BICZOK

figura 2.2. Proceso de corrosión en un medio industrial.

B). Principales reacciones que afectan a los sulfatos:

Los sulfatos que afectan la durabilidad se hallan usualmente en el suelo en contacto con el concreto en solución en agua de lluvia, en aguas contaminadas por deshechos industriales o por flujos en suelos agresivos.

Por lo general consisten en sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio. Los suelos con sulfatos se hallan normalmente en zonas áridas y pese a que pueden no estar en alta concentración, si se producen ciclos de humedecimiento y secado sobre el concreto , la concentración puede incrementarse y causar deterioro.

El mecanismo de acción de los sulfatos considera dos tipos de reacción química.

1. Combinación del sulfato con hidróxido de calcio libre (cal hidratada) liberado durante la hidratación del cemento, formándose sulfato de calcio (yeso) de propiedades expansivas.

2. Combinación de yeso con aluminato cálcico hidratado para formar sulfoaluminato de calcio (Etringita) también con características de aumento de volumen.

Algunos investigadores indican que existe un efecto permanente físico causado por la cristalización de las sales sulfatadas en los poros del concreto con aumento de volumen y deterioro.

a). EFECTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN EL CONCRETO

Velocidad de de ataque a Temp. ambiente	Ácidos inorgánicos	Ácido orgánico	Soluciones alcalinas	Soluciones salinas
Rápida	Clorhídrico. Fluorhídrico. Nítrico. Sulfúrico.	Acético Fórmico Láctico		Cloruro de Aluminio.
Moderada	Fosfórico.	Támico	Hidróxido de sodio > 20%	Cloruro de amonio. Sulfato de amonio. Sulfato de sodio. Sulfato de magnesio. Sulfato de calcio.
Lenta	Carbónico.		Hidróxido de sodio 10-20% Hipoclorito de sodio.	Cloruro de amonio. Cloruro de magnesio. Cloruro de sodio.
Insignificante		Oxálico. Tartárico	Hidróxido de sodio < 10%. Hidróxido de amonio.	Cloruro de calcio. Cloruro de sodio. Nitrato de zinc. Cromato de sodio.

b). DESARREGLOS DEL CONCRETO POR LA AGRESIÓN DE IÓN SULFATO

El ión sulfato es elevado en el caso de terrenos arcillosos.

Sulfato de calcio \Rightarrow Yeso y agua selenitasas.

Sulfato de magnesio \Rightarrow Exomita.

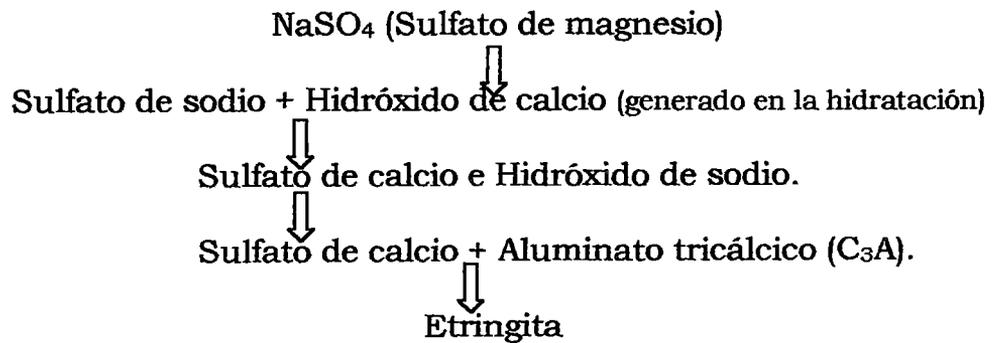
Sulfato de sodio \Rightarrow Glauberita y tenardita.

SO ₄ + agua ↓	- Sulfato en solución proveniente del medio exterior.
C ₃ A hidratado +	- Aluminato tricálcico (C ₃ A) hidratado, uno de los primeros compuestos formado durante la hidratación del clinker contenido en los cementos.
Ca ↓	- El ión de calcio liberado por los procesos de hidratación del clinker.
Sulfoaluminato De calcio hidratado.	- Sal hidratada que se forma, acción expansiva.

c). **ESQUEMA:**

Sulfoaluminato de calcio. (Etringita).

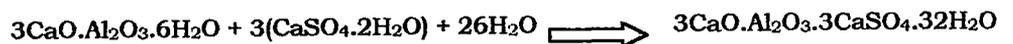
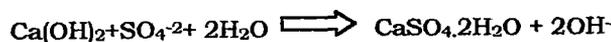
Hidróxido de calcio. (Portlandita).



d). **REACCIONES DESTRUCTIVAS EN EL CONCRETO (POR SULFATOS).**

PRODUCTOS: Yeso dihidratado (CaSO₄.2H₂O)
 Etringita (3CaO.Al₂O₃.3CaSO₄.32H₂O)
 Taumasita (CaCO₃.CaSO₄.CaSiO₃.15H₂O)

REACCIONES:



RECOMENDACIONES DE CARÁCTER GENERAL:

- La selección del tipo de cemento resistente a los sulfatos más apropiados.
- Relación agua/cemento entre 330 a 400Kg/m³.
- La apropiada consolidación del concreto en obra, para obtener la máxima compacidad.
- Un tratamiento de curado cuidadoso.

2.3.1.2 Desarrollo de las corrosiones provocadas por distintas soluciones de sulfatos.

A.) La acción corrosiva de las soluciones de Na₂SO₄.

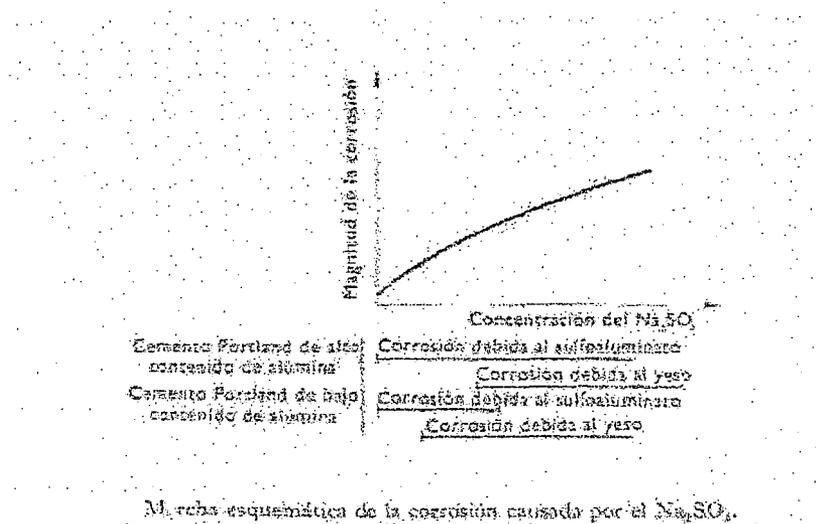
La corrosión del concreto de cemento Pórtland aumenta con la concentración de las soluciones de Na₂SO₄, pero el aumento de la velocidad de la corrosión no está en relación con el incremento de la concentración, sino que siempre es inferior. Simultáneamente, el tipo de corrosión varía. La que empezó como una corrosión puramente por los sulfatos se transforma en una corrosión sulfo-selenitosa; más tarde, sólo puede comprobarse la existencia exclusiva de una corrosión selenitosa (corrosión por yesos). Con contenidos de hasta 1000 mg de SO₄/l, no existe duda alguna que se produce una corrosión sulfática (sulfo-aluminosa). Cuando la concentración aumenta, comienza paralelamente la corrosión selenitosa que, sin embargo, representa un papel secundario dentro de los más amplios límites de la de la concentración de Na₂SO₄. La corrosión selenitosa pura sólo llega a ser preponderante con concentraciones elevadas.

Los procesos de transformación de la corrosión sulfatada en selenitosa no son discontinuos, si no que ambos

coinciden. Los procesos de transformación difieren entre sí cuando se trata de cementos Pórtland de diferente composición mineralógica. Según W. W. Kind, el carácter de la corrosión de un concreto preparado con un cemento Pórtland de elevado contenido de aluminato, y provocada por una disolución muy concentrada de Na_2SO_4 , es diferente de la de un concreto preparado con la misma dosificación y relación de mezcla, pero con un cemento Pórtland que contenga una menor cantidad de aluminato. Según las conclusiones L. K. Tuthill, la acción de las soluciones de Na_2SO_4 , sería resistida por cementos en los que:

C_3A	< 6%
$\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$	< 12%
C_3S	< 50%

Y cuya superficie específica fuese, como mínimo, de 2000 cm^2 .



FUENTE: IMRE MICZOK

Figura 2.3. Esquema de la corrosión causado por Na_2SO_4

B.) La acción corrosiva de las soluciones de $MgSO_4$.

El sulfato de magnesio está considerado, por lo general como especialmente agresivo, debido a la acción simultánea del magnesio y de los sulfatos.

La concentración de una disolución de $MgSO_4$ influye de alguna manera sobre el tipo de proceso corrosivo que se produce en el concreto; los procesos fisico-químico son diversos.

Según W.W. Kind, existen tres procesos diferentes que dependen del grado de la concentración de la solución de $MgSO_4$.

En el primer caso, es decir, cuando el contenido de $MgSO_4$ es de unos 4000 mg/l, puede observarse una corrosión producida por el ión sulfato. En el segundo caso, cuando el contenido de $MgSO_4$ de la disolución está entre los 4000 a 7500 mg/l, tiene lugar una corrosión sulfoalumínica-selenitosa, pudiéndose observar simultáneamente una corrosión producida por el magnesio. En el límite inferior de este intervalo, probablemente predomine la corrosión sulfoalumínica-selenitosa, mientras que en límite superior sea de mayor intensidad la corrosión magnésico-selenitosa. Si las concentraciones de la disolución supera los 7500 mg/l de $MgSO_4$, se observa una corrosión por el magnesio.

Conforme comprobaron W. Lerch, F.W. Ashton, R.H. Bogue, A. Guttman y F. Gille, con estas elevadas concentraciones de las soluciones de sulfato de magnésico no se forma etringita, pues según la opinión de los investigadores citados, la formación del gel de hidróxido magnésico hace descender la concentración de iones OH por debajo del valor mínimo preciso para la formación de la sal de Candlot. La corrosión se hace

visible en el primer caso por la formación de grandes grietas, características del sulfoaluminato. En el segundo caso, las resistencias del concreto de cemento Pórtland disminuyen con mayor lentitud y cesa la formación de grietas.

Si la concentración se encuentra entre los 6000 y 7500 mg de $MgSO_4$ por litro, el proceso de corrosión se hace aún mas lento. La corrosión no aumenta en el segundo caso por lo contrario apenas si es observable, posiblemente porque la corrosión tipo sulfático cesa tan pronto como comienza la corrosión magnésica. En el caso aparece la corrosión por expansión.

W.W. Kind, en una comunicación especial, observa que los límites de los tres casos en que la corrosión sulfoaluminosa se transforma en una corrosión magnésico-selenitosa, no pueden ser determinados con exactitud y que dependen, entre otros factores, de la constitución mineralógica del cemento Pórtland. Las investigaciones de W.W. Kind siempre revelan un aspecto interesante de la corrosión producida por el $MgSO_4$.

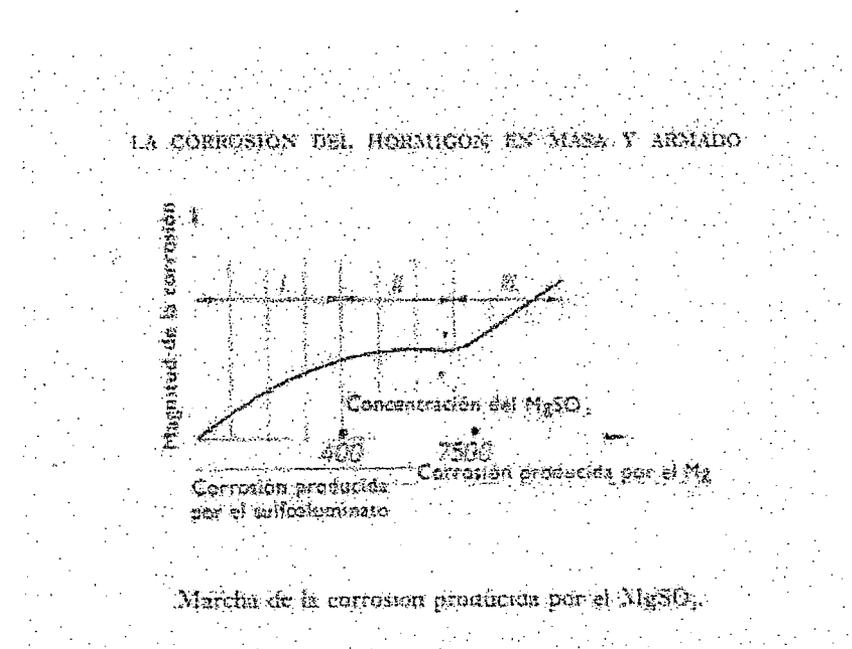
W.W. Kind preparó probetas iguales sumergidas en disoluciones de $MgSO_4$ de diferente concentración. Para poder estudiar la corrosión sulfoaluminosa, las concentraciones aumentaban gradualmente. La primera probeta estuvo depositada en una solución de 2000 mg/l y la segunda en otra solución de 4000 mg/l.

La tercera probeta, depositada en una solución de 7500 mg de $MgSO_4$, no muestra ninguno de los rasgos característicos de corrosión. Las restantes probetas muestran la expansión provocada por la corrosión magnésica. Estuvieron depositadas en disoluciones de 10000, 15000, 20000 y 30000 mg de $MgSO_4$ /litro. En la

solución de 100000 mg de $MgSO_4$ /litro, la probeta aparece hinchada y recubierta por un depósito blanquecino de $Mg(OH)_2$.

La marcha del proceso de la corrosión magnésica es más rápida que la de la corrosión sulfoaluminosa; el hormigón conserva su dureza normal, pero se hincha y posteriormente se desmorona.

Debemos indicar, además que el $MgSO_4$ ataca a todos los componentes del clinker y que, por lo contrario, el Na_2SO_4 ataca con menor intensidad los silicatos. La capacidad de resistencia frente a los ataques químicos de concretos con baja dosificación de cemento se muestra más claramente en las disoluciones de Na_2SO_4 ; la de concretos ricos en cemento, en las soluciones de $MgSO_4$.



FUENTE: IMRE BICZOK

Figura 2.4. Esquema de la corrosión causado por $MgSO_4$

C.) La acción corrosiva de las disoluciones de $CaSO_4$.

Las aguas que contienen sulfato cálcico (aguas de yeso), también llamadas aguas selenitosas, actúan en forma muy agresiva sobre el cemento Pórtland. La cantidad de

CaSO₄, que puede estar disuelto en las aguas subterráneas es de 1,2 g/l aproximadamente, mientras que en una solución saturada de cloruro sódico o cálcico puede alcanzar 10 gr/l.

La acción de las aguas selenitosas es tan intensa que destruye los concretos más fuertes, transformándolas en masas pastosas. La acción destructora puede ser, según el tipo de concreto, de carácter físico o físico-químico, causado por cristalización. Esta cuestión fue estudiada por H. Le Chatelier, E. Candlot y Deval.

Debido a la infiltración de cristales de yeso y a la reacción entre el CaSO₄ y el aluminato cálcico hidratado, las aguas selenitosas crean grandes tensiones internas que, en un plazo breve, aflojan la estructura del concreto, debido a las expansiones creadas por el yeso. La formación de cristales de yeso en los capilares y espacios huecos, creados por el fraguado, produce inicialmente una compactación y por lo tanto un aumento de las resistencias mecánicas del concreto (lo cual, según su composición, parece una mejora de la calidad) posteriormente, la destrucción avanza irresistiblemente, debida precisamente al crecimiento de los cristales.

2.4 Tipos de Corrosión:

Existen diversos tipos de corrosión que involucran la formación de productos expansivos en el concreto endurecido, pueden conducir a ciertos efectos dañinos. La expansión puede tener lugar al principio sin daño alguno al concreto, pero el aumento del esfuerzo interno finalmente se manifiesta por el cierre de juntas de expansión, deformaciones y desplazamientos en diferentes partes de la estructura, agrietando, descascaramiento y botaduras. Los cuatro fenómenos asociados con las reacciones químicas expansivas son: ataque de sulfatos, ataque álcali-

agregado, hidratación retardada de CaO y el MgO libres y corrosión de acero en el concreto.

2.4.1 Ataque de Sulfatos.

Una revisión reciente de 42 estructuras de concreto ubicadas a lo largo de las costas del Golfo al oriente de Arabia Saudita, mostró que la mayoría de las estructuras sufrieron un alto grado de deterioro en un periodo corto de 1 a 15 años; el deterioro fue atribuido principalmente a dos causas: corrosión del refuerzo y ataque de los sulfatos. El ataque de los sulfatos en el concreto ha sido registrado en muchas otras partes del mundo, incluyendo las provincias de la pradera canadiense y el oeste de los Estados Unidos. En realidad, tan temprano como el año 1936, un manual de construcción de concreto publicado por el U.S. Bureau of Reclamation, advertía que las concentraciones de sulfatos solubles mayores del 0.1 por ciento en el suelo (15 mg/litro de SO_4 en el agua), ponían el concreto en peligro y que más de 0.5 por ciento de sulfato soluble en el suelo (más de 2000 mg/litro de SO_4 en el agua) podían tener un efecto serio.

La mayoría de los suelos contienen algún sulfato en la forma de yeso (típicamente 0.01 a 0.05 por ciento expresado como SO_4 ; esta cantidad es inofensiva para el concreto. La solubilidad del yeso en el agua a temperaturas normales es más bien limitada (aproximadamente 1400 mg SO_4 /litro). Concentraciones más altas de sulfato en aguas subterráneas son en general debida a la presencia de sulfato de magnesio y del álcali. El sulfato de amonio está presente frecuentemente en suelos agrícolas y en las aguas. Los efluentes de hornos que usan combustible con alto sulfuro y de la industria química pueden contener ácido sulfúrico. El deterioro de la materia orgánica en pantanos y lagos superficiales, pozos de minas y tubos de drenaje, conducen a menudo la formación de H_2S , lo que puede ser transformado en ácido sulfúrico por medio de la acción bacteriana. De acuerdo con el comité ACI 201, el agua utilizada en

las torres de enfriamiento de agua puede también ser una fuente potencial del ataque de sulfatos por el incremento gradual de sulfatos el evaporarse el agua. Así, no sea raro encontrar concentraciones dañinas de sulfatos en ambientes naturales e industriales.

La degradación del concreto como un resultado de las reacciones químicas entre el cemento Pórtland hidratado e iones de sulfato de una fuente externa, se sabe que toma dos formas, que son muy diferentes una de otra. Cual de los procesos de deterioro es el predominante en un caso dado, depende de la concentración y fuente de los iones de sulfato (es decir el catión asociado) en el agua de contacto y de la composición de la pasta de cemento en el concreto. El ataque de sulfatos puede manifestarse en forma de expansión del concreto.

Cuando el concreto se agrieta, su permeabilidad se incrementa y el agua agresiva penetra más fácilmente a su interior, acelerando así el proceso de deterioro. Algunas veces, la expansión del concreto causa serios problemas estructurales tales como el desplazamiento de los muros de un edificio, debido a un empuje horizontal de una losa en expansión.

El ataque de sulfatos también puede tomar la forma de una pérdida progresiva de resistencia y pérdida de la masa debidas al deterioro en la cohesividad de los productos de hidratación del cemento. A continuación se presenta una revisión breve de algunos aspectos teóricos de las fallas generadas por los sulfatos, seleccionadas como casos históricos, y los controles contra el ataque de los sulfatos.

Con base a estándares originalmente desarrollados por el U.S. Bureau of Reclamation, la exposición a los sulfatos está clasificada en

cuatro grados de severidad en el Reglamento de Construcciones ACI 318-95, que contiene los siguientes requisitos:

- **Ataque despreciable:** Cuando el contenido de sulfato es menor a 0.1 % en el suelo, o menor de 150 ppm (mg/litro) en el agua, no habrá restricción para el tipo de cemento ni para la relación agua/cemento.
- **Ataque moderado:** Cuando el contenido de sulfatos es de 0.1 a 0.2 % en el suelo, o de 150 a 1500 ppm en el agua, el cemento Pórtland ASTM Tipo II o Pórtland puzolánico, o el cemento Pórtland con escoria, deberán usarse con una relación agua/cemento de menos de 0.5 para un concreto de peso normal.
- **Ataque severo:** Cuando el contenido de sulfatos es de 0.2 a 2.00 % en el suelo, o de 1500 a 10000 ppm en el agua, deberá usarse el cemento Pórtland ASTM Tipo V, con una relación agua/cemento de menos de 0.45.

2.4.2 Reacción álcali-agregado.

La expansión y el agrietamiento, que conducen a una pérdida de la resistencia, elasticidad y la durabilidad del concreto, también pueden ser el resultado de reacciones químicas que incluyen iones alcalinos del cemento Pórtland (o de otras fuentes), iones de hidroxilo y de ciertos constituyentes de sílice que pueden estar presentes en el agregado. En publicaciones recientes, este fenómeno es llamado reacción álcali-silica. Botaduras y exudado de un fluido viscoso de silicato de alcali, son otras manifestaciones del fenómeno, cuya descripción fue primeramente publicada en 1940 por Staton en sus investigaciones de estructuras de concreto agrietado en California. Desde entonces numerosos ejemplos del deterioro del concreto en otras partes del mundo se han registrado para demostrar que la reacción alcali-silica es por lo menos una de las causas del deterioro

de estructuras ubicadas en ambientes húmedos, tales como presas, pilares de puentes y muros marinos.

2.4.2.1 Procesos de corrosión en el alcali-agregado.

Dependiendo del grado de desorden en la estructura del agregado y de su porosidad y tamaño de la partícula, los geles de álcali-silicato de composición química variable, son formados en la presencia de iones de hidróxilo y de metal alcalino. La forma de ataque en el concreto incluye la despolimerización o rompimiento de la estructura de la sílice del agregado, por los iones del hidróxilo, seguida de la absorción de los iones de metal alcalino en la superficie recientemente creada de los productos de la reacción. Como los suelos marinos que contienen sodio absorbido en la superficie, o potasio, cuando los geles de silicato alcalino se ponen en contacto con el agua, se hinchan absorbiendo una gran cantidad de agua por medio de ósmosis. La presión hidráulica así desarrollada puede conducir a la expansión y al agrietamiento de las partículas del agregado afectado, la matriz de la pasta de cemento que rodea a los agregados y el concreto. La solubilidad de los geles de silicato alcalino en el agua es responsable de su movilidad desde el interior del agregado hacia las regiones microagrietadas, tanto dentro del agregado como en el concreto. La continua disponibilidad de agua en el concreto causa un agrandamiento y extensión de las microgrietas, las que finalmente alcanzan la superficie exterior del concreto. El patrón de grietas es irregular y por lo tanto se le conoce como un agrietamiento de mapeo.

2.4.2.2 Cementos y tipos de agregados que contribuyen la reacción.

Las materias primas utilizadas en la manufactura del cemento Pórtland son responsables de la presencia de los álcalis en el

cemento, generalmente en el rango de 0.2 a 1.5 % equivalente de Na_2O . Dependiendo del contenido de álcali en el cemento, el pH del fluido del poro en concretos normales es generalmente de 12.5 a 13.5. Este pH representa un líquido cáustico o fuertemente alcalino en el que algunas rocas ácidas (como los agregados compuestos de sílice y los minerales de sílice) no permanecen estables ante una larga exposición.

Con relación a los agregados reactivos con los álcalis, dependiendo del tiempo, la temperatura y el tamaño de la partícula, todos los silicatos o minerales de sílice, así como la sílica en forma hidratada (ópalo) o amorfa (obsidiana, vidrio sílica), pueden reaccionar con las soluciones alcalinas, aunque un gran número de minerales reaccionan solamente en un grado insignificante. Los feldespatos, los piroxenos, las micas y los cuarzos, que son constituyentes minerales de los granitos, los gneis, los esquistos, las piedras areniscas y los basaltos están clasificados como minerales inocuos o inofensivos. El ópalo, la obsidiana, tridimita, cristobalita, la calcedonia, los horstenos, las rocas volcánicas criptocristalinas (andesitas y riolitas), el cuarzo deformado o metamórfico, han sido encontrados como reactivos al álcali.

2.4.3 Hidratación de MgO y CaO cristalinos.

Numerosos informes, incluyendo una revisión de Mehta, indican que la hidratación de Mg o CaO cristalinos, cuando están presentes en cantidades importantes en el cemento, pueden causar la expansión y el agrietamiento del concreto. El efecto expansivo del alto MgO en el cemento fue primeramente reconocido en 1884, cuando un número de puentes de concreto y viaductos en francia fallaron dos años después de su construcción, los cmeentos franceses contenían de 16 a 30% de MgO. Esto originó que se pusieran restricciones a la

cantidad permisible de MgO. Por ejemplo, la ASTM requiere que el contenido de MgO en el cemento no debe exceder a 6%. (ASTM 150-89).

Aunque la expansión debida a la hidratación de CaO cristalino ha sido reconocida durante largo tiempo, en los Estados Unidos el efecto nocivo asociado con el fenómeno fue reconocido en los años treinta. Al principios se sospechó que se trataba del MgO, más tarde la expansión y el agrietamiento se atribuyeron a la presencia de CaO fuertemente calcinado en los cementos usados.

Pruebas en el laboratorio demostraron que las pastas de cemento hechas con un cemento Pórtland de bajo MgO, que contenían 2.8 % de CaO fuertemente calcinado, mostraron una expansión significativa. El fenómeno es virtualmente desconocido en los concretos modernos debido a que mejores controles de fabricación aseguran que el contenido de CaO no combinado o cristalino en los cementos Pórtland exceda raramente el 1%.

2.4.4 Corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto.

El deterioro del concreto que contiene metales embebidos tales como ductos, tubos o aceros de refuerzo y preesfuerzo, es atribuible al efecto combinado de más de una causa, sin embargo, la corrosión del metal embebido es invariablemente una de las causas principales.

Se espera que cuando el acero embebido es protegido del aire, con un recubrimiento de concreto adecuadamente grueso de baja permeabilidad, la corrosión del concreto y otros problemas asociados con ellos no se presentarán. Que esta expectativa no se cumple completamente en la práctica, es evidente por la inusual alta frecuencia de que a una estructura de concreto adecuadamente reforzada y presforzada continúan sufriendo daños debido a la

corrosión del acero. La magnitud del daño es de especial importancia en estructuras expuestas a ambientes marinos y a sustancias químicas deshielantes.

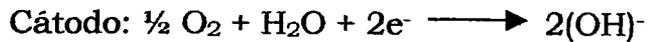
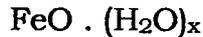
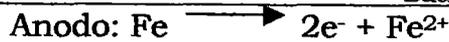
El daño en el concreto resultante de la corrosión del acero embebido se manifiesta en la forma de expansión, agrietamiento y eventualmente el descascaramiento del recubrimiento. Además de la pérdida de recubrimiento, un elemento de concreto reforzado puede sufrir daño estructural debido a la pérdida de adherencia entre el acero y el concreto y a la pérdida de área de la sección transversal de la varilla de refuerzo, algunas veces al extremo de que la falla estructural se vuelve inevitable.

2.4.4.1 Mecanismo involucrados en el deterioro del concreto debido a la corrosión del acero embebido.

La corrosión del acero en el concreto es un proceso **electroquímico**. Los potenciales electroquímicos para formar celdas de corrosión puede ser generada en dos formas:

- La composición de las celdas puede formarse cuando en el concreto se embeben dos metales diferentes, tales como las varillas de refuerzo de acero y tubos de aluminio para la conducción de líneas eléctricas, o cuando existen variaciones significativas en las características de la superficie del acero.
- Se pueden formar en los alrededores de acero concentraciones de celdas tales como los álcalis, los cloruros y el oxígeno debido a diferencias en las concentraciones de iones disueltos.

Como resultado, uno de los metales (o algunas partes del metal cuando sólo hay un metal presente), se vuelve anódico y el otro catódico. Los cambios químicos fundamentales que ocurren en las áreas anódicas y catódicas son como siguen:



Donde:

Fe = fierro metálico

FeO.(H₂)_x = fierro corroído

½ O₂ = oxígeno de aire

H₂O = agua

La transformación del fierro metálico corroído es acompañada de un incremento en el volumen que, dependiendo del estado de oxidación, puede ser tan grande como 600 % del metal original. Se cree que este incremento de volumen es la causa principal de la expansión y del agrietamiento del concreto, Debe notarse que la reacción anódica que incluye la ionización del fierro metálico no avanzará muy lejos a menos que el flujo de electrones a los cátodos se mantenga por el consume de electrones; por esto, la presencia tanto de aire como de agua en la superficie del cátodo es absolutamente necesaria. Igualmente, un fierro ordinario y los productos de acero se cubren con una película delgada de óxido de fierro que se vuelve impermeable y fuertemente adherente a la superficie del acero en los ambientes alcalinos, haciendo así al acero pasivo a la corrosión; es decir, el fierro metálico no será factible de reacción anódica hasta que la pasividad del acero sea destruida.

2.4.4.2 Corrosión del concreto reforzado expuesto al agua de mar.

El problema de corrosión en las estructuras de concreto reforzado, especialmente en pilotes de estructuras marinas, es uno de los mas frecuentes debido al contacto directo con el

mar. El agua de mar contiene aproximadamente 3.5 % de sal (predominantemente Cloruro de Sodio) así como algunos minerales y materia orgánica, si a esto agregamos una humedad conteniendo Oxígeno disuelto (primer agente corrosivo) estamos ante el ambiente ideal para el proceso de corrosión.

La corrosión en estas estructuras, muestra tres zonas importantes:

- Una zona completamente sumergida de la estructura, que puede presentar algún grado de corrosión no muy alto, en el que el acero se corroe a muy baja rata. Aún cuando el nivel de Cloruros en esta sección sumergida excede el límite requerido para iniciar la corrosión en el acero de refuerzo, la disponibilidad de Oxígeno en la interfase concreto-acero se convierte en un factor de control. La difusión del Oxígeno en concreto totalmente saturado es muy bajo y solo puede soportar bajas ratas de corrosión. -
- Una zona intermedia, la mas importante desde el punto de vista de la corrosión; comprendida entre la alta y baja marea o Zona de Splash. Un continuo humedecimiento seguido por un secamiento, provee al concreto tanto de altas concentraciones de Cloruros como de suficiente Oxígeno. Esta situación tiende a ser peor por el desarrollo de macrocélulas entre regiones altas de la estructura de concreto; las cuales aún no sufren de corrosión pero disponen de Oxígeno en grandes cantidades y con la presencia de Cloruros terminan por corroer esta zona. Un alto porcentaje de corrosión ocurre en la zona de Splash.
- La zona inmediatamente arriba de la zona Splash generalmente presenta un menor grado de corrosión debido a dos causas; primera, los Cloruros son transportados allí

por el viento en menor cantidad y segunda el contenido de humedad del concreto es bajo.

La mayoría de los daños ocasionados a las estructuras semi-sumergidas se presenta en la zona de splash, y es allí hacia donde se han dirigido las investigaciones tendientes a dar protección. El éxito alcanzado mediante la utilización de la protección catódica contra la corrosión, en losas de puentes y muchas otras estructuras de concreto reforzado, ha hecho que esta protección llame la atención para ser utilizada también en las subestructuras marinas.

2.4.4.3 Efectos en el acero de refuerzo

Como ya se ha referido anteriormente, la pasta de cemento no carbonatada tiene un pH mínimo de 12.5 y el acero de refuerzo no se corroe en esa circunstancia, fundamentalmente por la presencia de una película pasivante microscópica de óxido que evita su disolución anódica. No obstante, si el pH disminuye a menos de 10 por la acción de efectos tales como la carbonatación, la corrosión puede iniciarse. El efecto de la carbonatación puede disminuir el pH a niveles de 8 o 9, resultando en corrosión del acero cuando están presentes la humedad y los iones cloruro disueltos en agua en niveles por encima de 0.2 por ciento relativos a la masa de cemento, lo cual acelera la corrosión.

Cabe destacar que, en opinión de diversos autores, la corrosión puede iniciarse por la acción de iones de cloruro sobre el acero de refuerzo, aun en ambientes con un pH superior a 10 u 11, aunque estos casos se relacionan con cloruros presentes de origen en la mezcla por efectos de los agregados, el agua o los aditivos, pues los que penetran del exterior están generalmente asociados con el proceso de

carbonatación, el cual incide inmediatamente sobre los niveles de pH en el concreto.

La corrosión electroquímica de los elementos consiste básicamente en la conexión eléctrica o electrolítica entre un cátodo y un ánodo. En relación con el acero embebido en el concreto, las barras de refuerzo actuarán como un conductor eléctrico y el agua en los poros de la pasta actuará como electrolito. Durante el proceso de corrosión, el oxígeno es consumido y genera los productos de corrosión; el agua se necesita para permitir que el proceso de corrosión se mantenga y continúe, su presencia se relaciona con la generación de óxido férrico. Así, el resultado principal y más grave de la acción de los cloruros sobre el acero de refuerzo lo constituye la corrosión acelerada que éste sufre a consecuencia de su acción como catalizador en ese proceso electrolítico.

En muchas estructuras de concreto localizadas en ambientes marinos cercanos a las costas, en las que el daño se ha iniciado a través de una incipiente penetración de cloruros hacia el acero –como consecuencia de una permeabilidad natural excesiva del concreto, su carbonatación o el agrietamiento de las secciones–, la acción de la corrosión y del incremento de diámetro de las varillas causan por sí mismas agrietamiento en el recubrimiento del concreto, lo que facilita en gran medida el acceso de humedad, aire y cloruros contenidos en el agua, y acelera así el proceso de ataque, llevando las estructuras a daños irreversibles en periodos notablemente cortos.

2.4.5 Corrosión microbiana en el concreto.

La corrosión que se presenta en los tubos de concreto de los sistemas de alcantarillado sanitario; es una consecuencia del proceso cíclico natural para el reciclado del azufre en el medio ambiente, causado por el metabolismo microbiano del azufre, proceso de dos pasos. Uno

anaerobio, en este se produce anhídrido sulfuroso (H_2S), y el otro aeróbico en el cual el H_2S es oxidado a ácido sulfúrico (H_2SO_4) es este ácido el principal causante del deterioro.

2.4.5.1 PROCESO:

El H_2S proviene de sulfatos reducidos por los microbios, la mayoría de los sulfatos reducidos en las tuberías, ocurre en los depósitos de lodo sedimentado en el fondo de la tubería y en las incrustaciones de limo en las paredes de la tubería. Además de la materia orgánica incrustada, se forma una capa gelatinosa en las paredes, compuesta por microorganismos formando una biocapa de un espesor aproximado de 0.3 a 0.1 mm y es esta biocapa anaerobia la que actúa reduciendo los sulfatos a anhídrido sulfuroso.



Fig. 2.5. Tubería dañada por la corrosión microbiana.

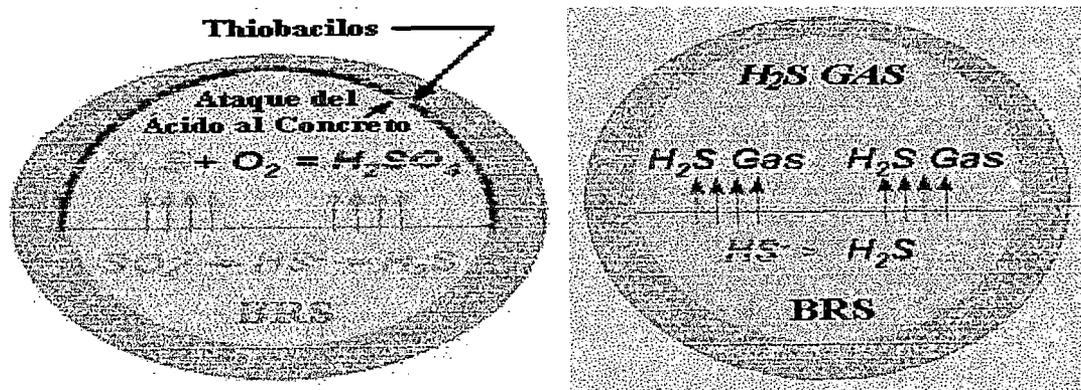


Fig. 2.6. Proceso de corrosión microbiana

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

El proceso aeróbico se presenta en la parte superior del tubo de drenaje. Esta reacción es llevada a cabo por la acción de las bacterias oxidantes de azufre (BOA), del género *Thiobacillus*, comprende bacilos Gram negativos con flagelación polar que pueden obtener energía de la oxidación de azufre elemental. Pueden crecer quimiolitotróficamente utilizando compuestos reducidos de azufre, son bacterias neutrófilas, que pueden adaptarse a un amplio rango de pH, y propician las condiciones ácidas necesarias, para que crezca la bacteria acidófila Thiobacilo Thiooxidans a un pH de 3.5 que es la principal causante del deterioro.

2.4.5.2 Solución:

En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se está desarrollando investigación, abocada a evitar el deterioro de los tubos de concreto, todo bajo la tesis de eliminar los sulfatos que como minerales naturales forman parte de la estructura del cemento Pórtland, dentro de los minerales que constituyen la estructura mesoscópica del concreto se encuentra uno muy común denominado etringita, un sílico-sulfato-aluminato-cálcico que posee varios aniones sulfato dentro de su estructura y que la bacteria busca con avidez para suplir las necesidades energéticas de su metabolismo.

Se espera que a través de la selección de la materia prima se logre la eliminación de sulfatos en el cemento Pórtland y el concreto, lo que dará como consecuencia un tubo de concreto resistente a la corrosión microbiológica.

2.5 Consecuencias sobre los componentes del concreto.

2.5.1 La acción de las disoluciones sulfáticas sobre los distintos constituyentes del cemento.

Se ha estudiado el problema de la corrosión producida por los sulfatos, basándonos en la química del cemento Pórtland, ahora analizaremos las consecuencias en sus componentes.

2.5.1.1 El silicato tricálcico:

El silicato tricálcico no es atacado directamente por el anión $(SO_4)^{-2}$, aunque sufre daños, T. H. Bogue descubrió que con altos contenidos de C_3A , el C_3S actúa favorablemente, pues su presencia, incluso en cantidades relativamente elevadas, causa grandes resistencias iniciales en el mortero, de forma que la solución agresiva no penetra tan rápidamente en las probetas de concreto y éstas pueden resistir mejor las expansiones. T. Thorvaldson, Vigfusson y Larmour, demostraron que las probetas de mortero formado exclusivamente por C_3S y C_2S eran destruidas por la acción del Na_2SO_4 . La acción de los sulfatos es, por lo tanto, un proceso complejo.

Por otra parte, no se debe considerar la corrosión sólo desde el punto de vista de la capacidad de resistencia a los sulfatos de C_3S y del C_2S , sino más bien estudiar el comportamiento del $Ca(OH)_2$ liberado por ellos durante la hidratación.

Una de las causas de la nocividad de los sulfatos es el yeso que se forma al reaccionar el anión sulfato del agua con el $Ca(OH)_2$ liberado por el cemento, y que se deposita en los poros del concreto en los que cristaliza con absorción de dos moléculas de agua. Este proceso de reacción química y cristalización, que es acompañado de un incremento de volumen, ejerce una acción expansiva en los poros del concreto (especialmente en los de la capas superficiales) y termina por lograr su desmoronamiento. La cristalización del yeso, según R. H. Bogue, viene acompañada de un aumento de volumen del 17.7%. si existen, además, iones de magnesio, la formación de hidróxido magnésico produce un aumento de volumen del 19.6%, aproximadamente.

Los daños producidos por los sulfatos son mas considerables en la parte situada por encima del nivel de las soluciones, que los producidos en la parte sumergida de las muestras, pues en estas ascienden por capilaridad. Como las alturas alcanzada para las soluciones de Na₂SO₄ es superior a la alcanzada para las soluciones de MgSO₄, los daños causados por las soluciones de Na₂SO₄.

2.5.1.2 El aluminato tricálcico:

La corrosión producida por los sulfatos está causada en su mayor parte por el contenido de aluminato tricálcico del cemento.

El C₃A reacciona (según se ha indicado anteriormente) con el yeso formado por el ión sulfato y el Ca(OH)₂, o con el yeso contenido en las aguas selenitosa original, formando un sulfo-aluminato cálcico hidratado de gran complejidad y poco soluble. Este compuesto cristaliza absorbiendo 31 moléculas de agua y creando fuertes presiones internas, a causa del aumento del volumen. Dicha sal compleja es llamada sal de Michaelis-Candlot-Deval, existente en la naturaleza, y llamada etringita. Debemos indicar que la etringita sólo se forma para determinados valores pH.

Según E. Candlot, el proceso químicos es el siguiente:



o con pH diferentes, según W. Lerch y R. H. Bogue.



La formula química del segundo miembro de la primera ecuación representa el trisulfoaluminato tricálcico hidratado (en abreviatura: Trisulfato). La segunda combinación, el sulfoaluminato tricálcico hidratado, es llamado monosulfato.

La sal compleja obtenido en la primera reacción cristaliza en las soluciones saturadas en forma de cristales aciculares, que ocupan, en comparación con los de SO₄Ca y C₃A originales (según los cálculos de R. H. Bogue y W. Lerch, así como los de W. C. Taylor, con 31

moléculas de agua de cristalización), un volumen final que es el 227% del original, es decir, el original multiplicado por 2.3, aproximadamente.

Los cristales aciculares (“bacilos del cemento”) formados con absorción de agua de cristalización, aumentan de volumen de tal forma que el hormigón se desmorona debido a la fuerte expansión desarrollado. La evolución, acción, formación morfológica y zona de existencia de este complejo son, naturalmente, mucho más complicadas de lo que sus descubridores imaginaron al principios.

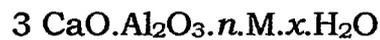
La acción de esta sal complejo es especialmente intensa, cuando el conglomerante del concreto contiene gran cantidad de C_3A , y son favorables las condiciones existentes para la constitución del sulfoaluminato hidratado. La corrosión por sulfatos no tiene lugar cuando toman parte en la formación del C_3A otros cationes trivalentes ($C_3(A, F, Mn)$), o cuando el C_3A se hidrata totalmente antes del endurecimiento del concreto y, por lo tanto, se forma el sulfoaluminato cálcico hidratado durante el fraguado y antes del endurecimiento. Si por ejemplo, se adiciona cloruro cálcico al concreto durante la mezcla, el sulfoaluminato cálcico hidratado se forma con mayor rapidez, debido a la menor solubilidad del C_3A ; de esta forma se reduce el riesgo de que en un momento posterior el concreto se desmorone debido a la formación de sulfoaluminato expansivos. Este efecto inhibitor de la corrosión realizado por el cloruro cálcico ha sido también comprobado independientemente por investigaciones japoneses.(Fukuda)

La formación de cristales aciculares, prácticamente reconocibles, empieza a tener lugar en concentraciones de 224 mg/l. Se forma gran cantidad de sulfoaluminato cálcico, especialmente cuando existen más de 1000 mg/l. La presencia de sal común (iones Na y Cl) retrasa, según se ha indicado, la formación de cristales e impide su crecimiento. La adición de carbonato cálcico cálcico

(CaCO₃) pese a su escasa solubilidad, retrasa algo la formación de cristales de la sal compleja.

La solubilidad del CaCO₃, del CaO y del CaSO₄ es mayor en una solución de sulfato sódico que en cualquier otra solución de igual concentración. Naturalmente, el sulfoaluminato hidratado cristalizada con tanta mayor dificultad cuando mayor sea su solubilidad. Por ejemplo, en una agua subterránea que contenga de 400 a 1000 mg de SO₄ por litro, cloruro sódico y, eventualmente, iones de magnesio, y que presente una dureza de carbonatos de 15 a 20° con el contenido de CO₂ correspondiente, no se llegan a formar cristales de sulfoaluminato cálcico hidratado.

Según J. Ottemann, la sal de Candlot no es un producto primario; primeramente se forma la combinación más baja en sulfato. De no ser así, existiría una pasividad muy amplia de que se formaran estas sales complejas, cuyas fórmula general sería:



en la que $m=1$ ó 3 ; $M=\text{CaSO}_4$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , etc; $x=10-32$.

De estos trabajos de investigación de F. E. Jones, J. D. Ans y H. Eick, se reduce que, para la formación de la sal, la relación $\text{Al}^{-3}:\text{Ca}^{-2}$ debe estar en ciertos límites, y que, asimismo, el contenido de sulfato debe ser superior a un determinado valor o umbral. Dicho límite es de 4 a 8 mg de CaSO₄/l. Este tipo de soluciones no ataca en forma alguna al concreto, pues la formación de etringita se limita a la superficie y la velocidad de difusión es muy reducida. Las combinaciones intermedias citadas anteriormente varían según la presencia de otros iones extraños, tales como el Fe⁻³ y los álcalis. Por ello, en la práctica sólo se tienen en consideración las soluciones que presentan concentraciones iguales o superiores a los 300 mg de SO₃/l. Cuando no existe posibilidad de que la concentración alcance este valor, la sal compleja citada en la segunda ecuación puede reaccionar con el exceso de yeso, formando un precipitado blanco de tipo gel, que

puede ser eliminado de los poros del concreto. Si la temperatura es superior a los 40°, según H. Kühn y H. Albert, no se forma etringita.

2.5.1.3 El ferrito-aluminato tetracálcico:

Según los ensayos de T. Thorvaldson, las probetas endurecidas de un cemento carente de C_3A es decir, de un cemento en el que todo el Al^3 está combinado en forma de C_4AF , son atacadas por las soluciones al 2% de Na_2SO_4 o $MgSO_4$ con una intensidad mucho menor de los que son las probetas de mortero hechas con C_3A puro, aunque con bastante más intensidad que las probetas de silicato cálcico.

Según R. H. Bogue, prismas de morteros hechos con cementos que contenían hasta 15% de C_4AF y que habían permanecido durante más de 10 años en una solución de Na_2SO_4 , no mostraban señal alguna de expansiones. Debe tenerse en cuenta que otras probetas, cuyos cementos presentaban contenidos mayores de C_4AF (24 a 27%) fueron destruidas en un plazo de dos años. Por lo tanto, también el C_4AF puede ocasionar expansiones, si bien con mucha menos intensidad que el C_3A .

2.6 El agua como agente de deterioro:

El concreto no es material vulnerable solamente a los procesos de deterioro físico y químico asociados con el agua. Por lo tanto, es conveniente revisar en general las características del agua que la hacen el principal agente de destrucción de materiales.

¿En que forma?, en forma de agua de mar, agua subterránea, ríos, lagos, lluvia, nieve y vapor, el agua es indudablemente el fluido más abundante en la naturaleza. Siendo pequeñas, las moléculas de agua son capaces de penetrar poros o cavidades extremadamente finos. Como solventes, el agua es notoria la capacidad para disolver más sustancias que ningún otro líquido conocido. Esta propiedad cuenta con la presencia de muchos iones y gases en algunas aguas, que a su vez, se vuelven el instrumento para causar la descomposición química de los materiales

sólidos. Puede notarse también que el agua tiene el calor más alto de vaporización entre los líquidos comunes, por lo tanto, a temperaturas ordinarias tiene la tendencia a permanecer en un material en estado líquido y no a evaporarse y dejar seco el material.

En los sólidos porosos, los movimientos internos y los cambios de la estructura del agua se sabe que causan cambios volumétricos de ruptura de muchos tipos. Por ejemplo, el congelamiento del agua en hielo, la formación de una estructura ordenada de agua dentro de los poros finos, el desarrollo de la presión osmótica debida a diferentes concentraciones iónicas y la creciente presión hidrostática debida a presiones diferenciales a vapor, pueden conducir a altos esfuerzos internos dentro de un sólido húmedo

2.7 Permeabilidad:

Teóricamente, se espera que la introducción de partículas de agregado de baja permeabilidad en una pasta de cemento reduzca la permeabilidad del sistema (especialmente con las pastas de alta relación agua cemento a edades tempranas, cuando la porosidad capilar es alta), porque las partículas de agregado deben interceptar los canales de flujo dentro de la matriz de la pasta de cemento. Por lo tanto, en comparación con la pasta de cemento pura, el mortero o el concreto con la misma relación agua cemento y grado de madurez, deberá dar un coeficiente mas bajo de permeabilidad. Pero algunos ensayos realizados indican que en la practica ese no es el caso, cuanto mayor sea el tamaño del agregado, mayor será el coeficiente de permeabilidad.

Generalmente, los coeficientes de permeabilidad para concreto de resistencia moderada (con contenido de agregado de 38 mm y 356 Kg/m³ de cemento y una agua-cemento igual a 0.5) y concreto de baja resistencia usado en presas (75 a 15 mm de agregado, 148 Kg/m³ de cemento y una relación agua-cemento igual a 0.75), son del orden de 1×10^{-10} y 30×10^{-10} cm/seg, respectivamente. La explicación de por qué la permeabilidad del mortero o del concreto es más alta que la permeabilidad de la pasta de

cemento correspondiente, se halla en las microgrietas que están presentes en la zona de transición entre el agregado y la pasta de cemento. El tamaño del agregado y la granulometría afectan las características del sangrado de una mezcla de concreto que, a su vez, influye en la resistencia de la zona de transición. Durante los periodos iniciales de hidratación, la zona de transición es débil y vulnerable al agrietamiento debido a las deformaciones diferenciales entre la pasta de cemento y el agregado, inducido generalmente por la retracción por secado, la retracción térmica y la carga aplicada externamente.

Las grietas en la zona transición son demasiado pequeñas para poder verse a simple vista, pero son mas grandes y anchas que la mayoría de cavidades capilares presentes en la matriz de la pasta de cemento, y por lo tanto, son instrumentos para el establecimiento de las interconexiones, que incrementan la permeabilidad del sistema.

Debido a la importancia de la permeabilidad ante procesos físicos y químicos de deterioro del concreto, será de utilidad una breve revisión de los factores que controlan la permeabilidad del concreto.

Puesto que la resistencia y la permeabilidad están relacionados una con la otra a través de la porosidad capilar, los factores que influyen en la resistencia del concreto, también influyen en la permeabilidad. Una reducción en el volumen de los huecos capilares grandes (>100 nm) en la matriz de la pasta de cemento, reducirá la permeabilidad. Esto deberá ser posible utilizando una relación agua-cemento baja, contenido de cemento adecuado y una adecuada compactación y condiciones de curado. Igualmente, son medidas necesarias una atención adecuada del tamaño del agregado ya la granulometría, a las deformaciones térmicas y por retracción por secado y evitar una carga prematura o excesiva, para reducir la incidencia de microagrietamientos en la zona de transición, que parece ser la causa principal de la alta permeabilidad del concreto en la practica. Finalmente, deberá notarse que la tortuosidad de la trayectoria del fluido que determina la permeabilidad, también es afectado por el espesor del elemento del concreto.

CAPITULO III

MECANISMO DE ACCION

3.1 Introducción:

Para la solución correcta del problema de la protección del hormigón contra la corrosión, no basta con decir que el agua del subsuelo es agresiva o no, sino que hace falta, además según las posibilidades, determinar el grado de agresividad. A este fin, se encamina el estudio contenido de iones perjudiciales en el agua, así como el conjunto de condiciones que influyen sobre la corrosión del concreto.

El plazo en el que una corrosión conduce a una ruina total de una construcción (es decir la ruina la vida útil de esta puede variar según el tipo de construcción, siendo en general, de difícil determinación.

Las observaciones efectuadas sobre construcciones existentes en ambientes agresivos están dificultadas por el hecho de que, en general, **los procesos de corrosión existentes en la Naturaleza tiene una marcha extremadamente lenta**. Sin embargo, mediante ensayos de laboratorio, únicamente, es difícil llegar a conocer la acción de los distintos factores. Por lo tanto, deben observarse los concretos en los diversos ambientes de la Naturaleza.

Las investigaciones a largo plazo presentan la desventaja de que sólo después de un largo periodo de observación permiten que se emplee adecuadamente un cemento. Así, por ejemplo, en Francia, el periodo de observación y ensayo es de 8 años. Después del transcurso de un plazo tan dilatado puede suceder que el cemento utilizado en los ensayos, debido a los progresos en la tecnología de su obtención y elaboración, no coincida con el fabricado en la actualidad.

A este respecto, existen en el campo de la investigación dos posibilidades. La primera consiste en observar el estado de los elementos de concreto instalados o las probetas de concreto sometidas a la acción de los agentes de la Naturaleza, y la segunda consiste en observar en el

laboratorio las probetas de mortero o concreto preparadas a l objeto, y que han sido depositadas en ambientes agresivos de diferentes concentraciones. (Pietkowski, 1954).

Según W.W. Kind (1954), son suficientes para el segundo método de investigación las condiciones siguientes:

- El carácter físico-químico de los procesos de corrosión, que tiene lugar en el laboratorio, no debe diferir en forma esencial de los procesos de corrosión desarrollados en la Naturaleza.
- La resistencia a los agentes agresivos de be estar basada en todos los criterios que puedan causar la destrucción del concreto.
- El plazo de la investigación será lo más corto posible y los ensayos de fácil ejecución.

Las investigaciones sobre la corrosión debe ir siempre precedidas de un estudio detallado de la cuestión. El análisis del amplio material, resultado de investigaciones realizadas durante decenios, demuestra que, debido a métodos de ensayos inadecuados, se ha llegado muchas veces a resultados contradictorios que oscurecían, más que aclaraban, el problema investigado. Con ello, se dificultaba la elección de medidas sencillas y eficaces para impedir la corrosión.

3.2 Fundamento de ensayos a realizar.

Investigación de la corrosión del concreto en el laboratorio.

3.2.1 Ensayos de Corrosión a largo plazo

Nuestra atención se dirige ahora a los experimentos realizados sobre obras de concreto o probetas de gran volumen de este material en condiciones iguales, o aproximadamente iguales, a las que se presentan en la realidad. Los método empleados en estos ensayos son de toda confianza, aunque en general, se necesita un plazo muy dilatado para que la variaciones que se producen en las probetas sean mensurables. Algunos investigadores mantienen el criterio de que los resultados de los ensayos de laboratorio no son suficientes para servir de base para la elección de las medida de protección que

han de adoptarse. Como aclaración de este hecho, debe recordarse que la destrucción del concreto por las aguas agresivas es un fenómeno que no se produce con la frecuencia que podría esperarse de los ensayos de laboratorio. Por lo tanto, se recomienda que las probetas y elementos constructivos, fabricados bajo un estricto control, sean sometidos a ataques de los agentes naturales, observando su comportamiento con regularidad. Esta es la tendencia reinante en Estados Unidos en la época en que se enjuiciaron los problemas de la corrosión basándose en los resultados de estos ensayos.

Sobre la resistencia del concreto frente a las acciones agresivas, es decir, sobre la aparición de la corrosión, se obtuvo la mas valiosa información mediante la valoración e interpretación comparada de los resultados de estudio de largo plazo realizado sobre probetas de fabricación rigurosa mente controlada y que hubieron de sufrir la acción agresiva de sustancias nocivas, por ejemplo, agua de mar, durante largos periodos de tiempo. Mediante una adecuada elección, tanto del cemento y los áridos, como los sistemas empleados en la fabricación y compactación, es posible realizar estudios comparativos cuidadosamente planeados, que nos ilustren sobre el comportamiento de los distintos tipos de concreto durante periodos considerables.

3.2.2 Ensayo a corto plazo o de corrosión acelerada

El excesivo plazo que se necesita para realizar los ensayos a largo plazo nos obliga a buscar nuevas alternativas con las cuales tener datos confiables y que sean obtenidos rápidamente.

Por lo tanto el objetivo principal es el desarrollo de una técnica de investigación, mediante la cual se pueda hacer descender el plazo de los ensayos de corrosión a tan solo algunas semanas sin influir en el proceso mismo de corrosión. Si se alcanza esta meta, se podría investigar rápidamente los distintos tipos de cementos, y emitir un

juicio sobre la calidad del necesario para las obras de gran importancia.

Las condiciones que este método de investigación debe reunir, pueden resumirse en la siguiente forma:

1. El método debe ser apropiado para poder comprobar la resistencia de los cementos Pórtland y siderúrgicos frente a los sulfatos. También debe poderse aplicar a los cementos y puzolánicos.
2. El método, además de la condición antes indicada, debe poder dar valores reproducibles dentro de un plazo relativamente reducido (unos tres meses) para que sea aceptable su empleo tanto por los fabricantes de cemento como por los consumidores.
3. Las valoraciones obtenidas en el laboratorio mediante el empleo del método en cuestión debe tener una correspondencia con el comportamiento del cemento en obra.

Carece de importancia que clase de método específico se emplea para determinar la resistencia a los sulfatos, siempre que suministre con bastante rapidez y exactitud la información deseada.

Los ensayos rápidos pueden ser de corrosión a largo plazo, en los que se acelera la corrosión mediante un aumento cuantitativo de las condiciones de agresión, y ensayos de corrosión rápida, en los cuales el agente agresivo que actúa en la práctica es sustituido por otro de acción mucho más rápida. En estos últimos, no siempre es posible la puesta en práctica.

Los ensayos de corrosión rápida pueden clasificarse en cinco grupos:

1. Ensayo rápidos por incremento de la superficie de reacción;
A este grupo pertenecen los métodos que aceleran la marcha del proceso de corrosión, incrementando la superficie de reacción.
2. Ensayos rápidos por incremento de la presión de cristalización;
Mediante este método se investiga la actuación de las soluciones agresivas, que sólo producen daños debido a la presión de cristalización, pero no generan procesos químicos perjudiciales.

El informe del Comité ACI 201 cita evidencias de que una acción puramente física (no incluyendo el ataque químico en el cemento) de la cristalización de las sales de sulfatos en los poros del concreto puedan causar un daño considerable. Por ejemplo, cuando un lado de un muro de contención o una losa permeable esta en contacto con una solución salina y los otros lados esta sometida a evaporación, el material se puede deteriorar por esfuerzos que resultan de la presión de la cristalización de las sales en los poros. En muchos materiales porosos, la cristalización de las sales de soluciones sobresaturadas se sabe que produce presiones suficientemente grandes para causar un agrietamiento. De hecho, los efectos de la humedad y la cristalización de sales son los dos factores mas dañinos en el deterioro de monumentos históricos de piedra.

La cristalización de una solución de sal puede ocurrir solamente cuando la concentración de solvente excede la concentración de saturación (C_s) a una temperatura dada. Como norma, en cuanto mas alta sea la relación C/C_s (o grado de saturación), mayor será la presión de cristalización.

Winkler determino que las presiones de cristalización de las sales se encuentran comúnmente en los poros de las rocas, las piedras y el concreto; estas presiones, calculadas a partir de la densidad, el peso molecular y el volumen molecular.

3. Ensayos rápidos mediante imbibición de la solución agresiva;
Este método puede usarse ventajosamente a la investigación de las acciones de las acciones agresivas a ambientes industriales.
4. Ensayos rápidos mediante por incremento de la concentración de la solución agresiva;

Hoy en día, este método se emplea poco, ya que actualmente se considera que el aumento de las concentraciones de iones agresivos produce deformaciones en el proceso de corrosión.

5. Ensayos rápidos por incremento de la temperatura de la solución agresiva.

Elevando la temperatura de la solución agresiva se acelera, en general, su acción corrosiva. Un aumento moderado de la temperatura de la disolución agresiva es admisible, si se sabe el comportamiento de los componentes de dicha disolución ante la elevación de temperatura.

Los ensayos rápidos tienen también la ventaja de rápida aparición de las huellas de la corrosión, aunque la interpretación de los datos siga siendo difícil.

3.2.3 Ejecución de los ensayos de corrosión.

Con fines de investigación las disoluciones más comúnmente utilizadas son las de sulfato magnésico y sulfato sódico. La disolución del sulfato cálcico es poco apropiada, dada su poca solubilidad. En el agua se obtiene como máximo una disolución de 2gr/l de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, no siendo posible, por lo tanto, preparar soluciones muy concentradas. Tampoco se suelen emplear para investigar disoluciones de sulfato amónico, ya que la corrosión provocada por el ión amonio aparece tan rápidamente que no permite observar satisfactoriamente su evolución o la diferente resistencia a la corrosión de los distintos cementos.

En el caso de emplearse disoluciones de elevada concentración, la correcta valoración de los resultados es de gran importancia. Así, por ejemplo, los cementos Pórtland puzolánicos son mas resistentes a la acción de las aguas sulfatadas naturales que el cemento Pórtland, pero en cambio sufren una destrucción mas rápida e intensa que la de este ultimo cuando se expone a disoluciones al 10% de MgSO_4 o

de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Estos tipos de cemento presentan una resistencia a la acción SO_4^{2-} superior a la del cemento Pórtland, siendo por lo contrario, menos resistentes que este a la acción de los iones Mg^{2+} y (NH_4) .

En el cálculo de las concentraciones debe tenerse la precaución de tomar como base del cálculo la cantidad de sal considerada, sin tener en cuenta el agua de hidratación o cristalización.

3.2.4 Determinación del grado de corrosión.

El grado de avance de la corrosión puede apreciarse mediante una inspección ocular, o calcularse por distintos procedimientos, entre los que pueden citarse los siguientes:

a) *Variación de Pesos*: Siguiendo el método de ensayo por humedecido y secado por pérdida de peso puede observarse y medirse la corrosión.

b) *Calificación por el examen ocular de los desperfectos sufridos por la probeta*: Un examen ocular de la probeta puede permitir obtener un juicio del grado de corrosión y de su carácter (lixiviación, degradación superficial, melladura de esquinas y cantos, expansiones, desmoronamiento)

Naturalmente, este método es absolutamente subjetivo; sin embargo, los ensayos a largo plazo realizados en Norteamérica demuestran una notable coincidencia entre el valor obtenido, como media de las calificaciones de varios observadores independientes, y el deducido por estudio de las resistencias mecánicas y módulo de elasticidad.

c) *Midiendo la variación de las resistencias mecánicas*

La capacidad de resistencia de los agentes agresivos puede también juzgarse por la determinación de las resistencias mecánicas de la probeta. La reducción de dichas resistencias nos indica el progreso de la corrosión.

Puede establecerse una relación positiva entre las propiedades resistentes y fenómenos de la corrosión, determinando la resistencia a compresión o flexo tracción del hormigón. Mediante la representación grafica de los resultados de los ensayos, este método de investigación es especialmente apropiado para esclarecer las menores particularidades del proceso, la evolución de las nuevas combinaciones químicas que se constituyen y sus correspondientes efectos.

El inconveniente que presenta este método es que hace necesario un gran numero de probetas. Debe tenerse en cuenta, además, que la resistencia mecánica de una probeta depositada en una solución agresiva, debido a la incipiente cristalización de las sales agresivas que rellenan los poros, puede ser al principio, y durante un cierto período, superior a la de la probeta de control depositada en agua pura.

Mas tarde, la resistencia mecánica disminuye repentinamente y la probeta se destruye.

- d) Métodos Numéricos.
- e) Examen rápido al microscopio.

CAPITULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS

4.1. CRITERIO DE DISEÑO:

El concreto es un material heterogéneo el cual está principalmente compuesto de la combinación del cemento, agua, y agregados fino y grueso. La selección de las proporciones de los materiales integrante de la unidad cúbica de concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla.

El diseño de mezcla se define como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación mas conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un concreto cuyas propiedades sean las más adecuadas tanto en su estado fresco como endurecido.

Existe diversos métodos de diseño, se a aplicado el recomendado por el comité 211 del ACI, para la selección del contenido de los agregados el porcentaje de arena se obtuvo por el método del agregado global.

Los criterios existentes permiten obtener una primera aproximación de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto. Estas proporciones sea cual fuere el método empleado para determinarlas, deberá ser considerada como valores de pruebas sujetos a ajustes sobre la base de los resultados obtenidos en mezclas preparadas en el laboratorio.

4.2 Métodos de Diseño utilizado

4.2.1 METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Independientemente que las características finales del concreto sean indicadas en las especificaciones técnicas o dejadas al criterio del profesional responsable del diseño de mezclas, las cantidades de

materiales por metro cúbico de concreto pueden ser determinadas, cuando se emplea el método del Comité 211 del ACI ,siendo la secuencia que a continuación se indica:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora
- Selección del tamaño nominal máximo del agregado grueso
- Selección del asentamiento
- Selección del volumen unitario del agua de diseño
- Selección del contenido de aire
- Selección de la relación agua/cemento por resistencia y durabilidad
- Determinación del factor cemento
- Determinación del contenido de agregado grueso
- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño , aire y agregado grueso
- Determinación del volumen absoluto del agregado fino
- Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado
- Determinación de la proporción en peso, de diseño y de la obra
- Determinación de los pesos por tanda de una bolsa

4.2.2 METODO DEL AGREGADO GLOBAL

El agregado global, se transforma en una necesidad por la importancia que adquiere conocer la mejor combinación de los agregados, el porcentaje tanto del agregado grueso como el agregado fino, para obtener una mezcla que cumpla óptimamente con las propiedades del concreto.

Para obtener esta mejor combinación realizaremos dos métodos de ensayos, para poder determinar el porcentaje adecuado de arena, los métodos son los siguientes:

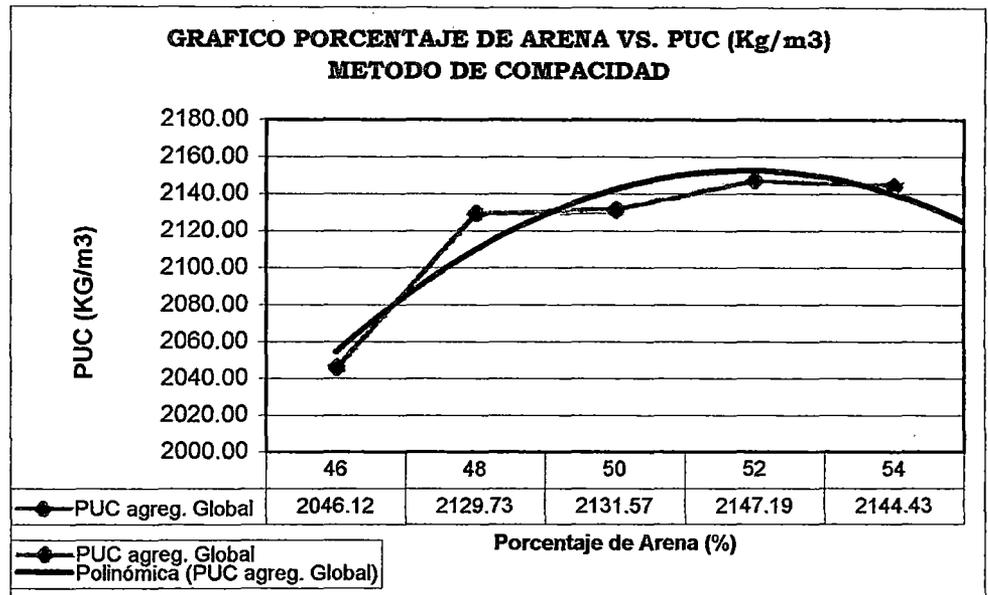
4.1.2.1 Método de Compacidad:

Este ensayo consiste en el Ensayo de Peso Unitario Compactado, el cual tiene el siguiente procedimiento:

- Cuarteo por separado de los agregados.
- Pesado de los agregados para las distintos porcentajes de los agregados.
- Luego se combinan ambos agregados, mezclándose bien, con fuerza e intensidad para tratar una mezcla lo más homogénea posible.
- Luego se coloca el material combinado en una balde metálico ($1/3\text{pie}^3$), en tres capas, cada capa se compacta con 25 golpes.
- Por último se pesa el agregado combinado compactado.
- Se compararán los distintos resultados y se escogerá el mayor el cual dará un porcentaje de arena.

Resultados:

Ensayo de Peso Unitario Compactado (V balde = 0.01360 cm³)



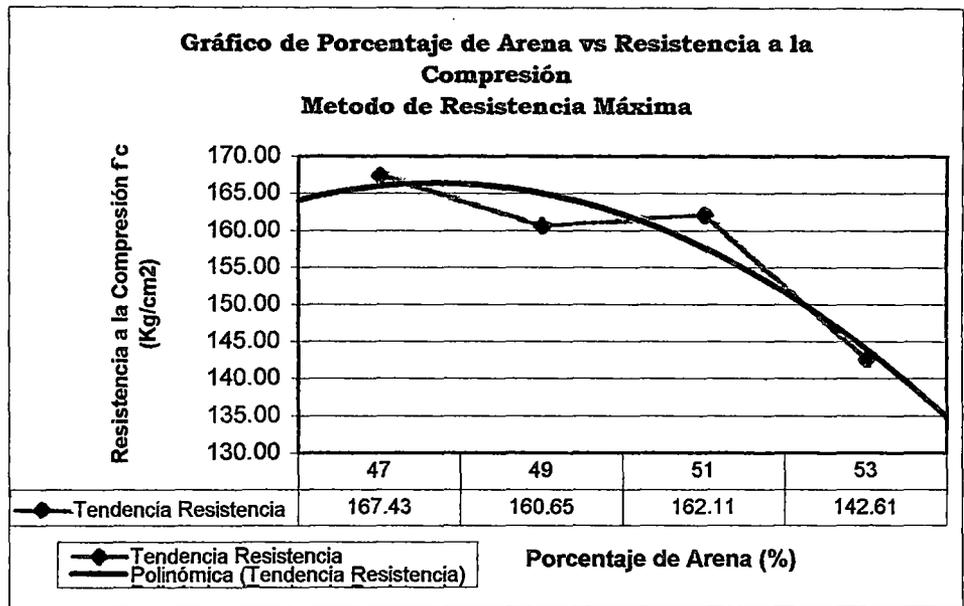
Utilizando el método de compactación el porcentaje de arena es de 52%.

4.1.2.2 Método de Resistencia a la Compresión Máxima:

Este método consiste en la determinación de la mayor resistencia de compactación, el cual tiene el siguiente procedimiento:

- Se realiza un diseño de mezcla preliminar en el cual se dan porcentajes iniciales de agregado fino y grueso (para 47, 49, 51, 53% de arena).
- Se realiza el mezclado de los materiales, cuyo procedimiento mas detallado se vera en su capitulo. (con un asentamiento de 3 a 4")
- A los 7 días (con su respectivo curado), se procede a realizar el ensayo de resistencia de compresión.
- Se comparan gráficamente las distintas resistencias y los diferentes porcentajes de arena, donde la mayor resistencia dará el porcentaje adecuado de arena.

Resultados:



Utilizando el método de resistencia máxima a la compresión, el porcentaje óptimo de arena es de 48%.

Por lo tanto por ser este método más representativo los diseños de mezcla se realizaran con este porcentaje de arena.

4.3 Secuencia de diseño utilizado:

La secuencia de diseño se considera fundamental en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto. Ellos deben realizarse independientemente de los métodos de diseño elegidos.

1. Analizar los requisitos que debe presentar el concreto tanto en su estado fresco como endurecido.
2. Realizar el estudio de las propiedades físicas de los agregados, determinar la mejor combinación de los agregados, elegir la consistencia de la mezcla y expresarla en función del asentamiento de la misma. Se tendrá en consideración, entre otros factores la trabajabilidad deseada y las facilidades de colocación.

3. Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen del concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire, atrapado o incorporado, en la mezcla. (Ver cuadro 4.1)
4. Determinar el porcentaje de aire atrapado o el de aire total, según se trate de concreto normales o de concretos en los que adrede, por razones de durabilidad, se ha incorporado aire, mediante el empleo de aditivo. (ver cuadro 4.2)
5. La resistencia a la compresión de este trabajo es de mediana a baja resistencia por lo que se ha seleccionado para relaciones agua-cemento 0.70, 0.65 y 0.60.
6. Determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto, en función del volumen unitario de agua y de la relación agua-cemento seleccionada.
7. Determinar las proporciones relativas de los agregados fino y grueso (cuyos porcentajes fueron determinados mediante el método de agregado global). La selección de la cantidad de cada una de ellos en la unidad cúbica de concreto esta condicionada al procedimiento de diseño elegido.
8. Determinar, empleando el “método de diseño” seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado está en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.
9. Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados fino y grueso.
10. Transformar a un peso unitario para luego convertir a una tanda húmeda que contenga por tanda tres probetas de dimensiones 6x12” (15x30cm).

11. Ajustar las proporciones seleccionadas de acuerdo a los resultados de los ensayos de la mezcla de prueba realizados en el laboratorio.

Cuadro 4.1

Volumen Unitario de Agua

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
2" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Fuente: Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Cuadro 4.2

Contenido de Aire Atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Comité 211 del ACI

4.4 Diseño de Mezcla Final

Dosificación final para las relaciones a/c 0.70, 0.65 y 0.60.

Relación agua-cemento 0.60:

Material	P. Seco	P. Húmedo	P Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	328	328	1	6.96	Kg
Agua	197	207	0.63	4.40	lt
Piedra	961	965	2.94	20.48	Kg
Arena	850	856	2.61	18.16	Kg

Relación agua-cemento 0.65:

Material	P. Seco	P. Húmedo	P Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	302	302	1.00	6.40	Kg
Agua	196	206	0.68	4.38	lt
Piedra	974	979	3.25	20.78	Kg
Arena	862	868	2.88	18.43	Kg

Relación agua-cemento 0.70:

Material	P. Seco	P. Húmedo	P Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	279	279	1.00	5.92	Kg
Agua	195	206	0.74	4.37	lt
Piedra	986	991	3.56	21.05	Kg
Arena	872	879	3.15	18.67	Kg

Nota: Estas dosificaciones finales son obtenidas mediante una serie de diseño de mezcla de prueba, a fin de obtener la cantidad de agua optima en la mezcla. (ver anexo A)

Estos diseños de mezcla se realizaron con el fin de tener un asentamiento de 3 ½ de Slump.

CAPITULO V

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

5.1 Introducción:

Puesto que las propiedades en el largo plazo del concreto (resistencia y durabilidad) son severamente afectadas por el grado de compactación, es esencial que la consistencia o manejabilidad del concreto fresco sean tales que el concreto pueda compactarse adecuadamente y ser transportado, colocado y acabado con la facilidad suficiente para que no se segregue, lo cual perjudicaría la compactación.

5.2 Asentamiento (ENSAYO DE CONSISTENCIA). NTP 339.035:

5.2.1 Definición:

La consistencia del concreto nos indica el grado de humedad de la mezcla. El ensayo de consistencia es con el fin de obtener el asentamiento y dar una medida indirecta de la trabajabilidad. Se evalúa la capacidad para el vaciado en elementos delgados principalmente.

Si en vez de desplomarse uniformemente en todo el alrededor, como en un verdadero desplome, la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que ocurre un revenimiento cortante y la prueba debe repetirse. Si persiste el revenimiento cortante, como puede ser el caso con mezclas ásperas, será una señal de falta de cohesión de la mezcla.

5.2.2 Procedimiento:

- Se humedece el interior del molde y la base sobre la cual se va hacer el ensayo la base debe ser firme; plana nivelada y no absorbente, recomendable plancha metálica.
- Sujetar firmemente el molde con los pies, para ello pisar las aletas con que cuenta el molde.

- Luego echar concreto al molde con el cucharón, hasta $1/3$ del volumen del cono, altura aproximada de 6.5 cm y chucear 25 veces de afuera hacia adentro en forma de espiral.
- Enseguida colocar la segunda capa, altura aproximada de 15.5 cm teniendo cuidado de que la varilla compactadora penetre ligeramente en la capa anterior.
- Colocar la tercera capa, colocando un poco más del concreto necesario y chucear 25 veces, penetrando ligeramente la capa anterior.
- Eliminar el exceso de concreto usando una plancha y se aparta el concreto que se haya depositado al pie del molde.
- Golpear suavemente con la varilla compactadora una de las generatrices del cono, con el fin de producir la caída del concreto.
- Levantar el molde verticalmente en 5 a 10 segundos, sin impartirle movimiento lateral o de torsión.
- Colocar el molde al lado del concreto ensayado y se mide la distancia entre la varilla colocada horizontalmente sobre el molde y la cara superior del concreto, esta distancia en centímetros es lo que denominan asentamiento.

5.3 Fluidez (Mesa de Sacudida). NTP 339.085

5.3.1 Definición:

La consistencia es el grado de fluidez de una mezcla, determinada de acuerdo a un procedimiento prefijado, el principio del ensayo radica en el aumento del diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono de masa de concreto fresco, sometido a sacudida sucesivas.

5.3.2 Procedimiento:

- El ensayo consiste en determinar el aumento del diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono de la masa de concreto fresco, sometido a sacudidas sucesivas.

- Previamente se limpia la mesa de sacudidas, quitando el exceso de agua con una esponja.
- Enseguida centrar el molde sobre la mesa, se sujeta firmemente y luego echar el material suficiente hasta la mitad del molde.
- Con la ayuda de la varilla compactadora aplicar 25 golpes, distribuidos uniformemente, por toda la sección de la masa.
- Luego llenar el molde con exceso y aplicar otros 25 golpes con la varilla, procurando que este penetre hasta la capa inferior y que la masa rellene todos los huecos.
- Retirar el concreto sobrante y limpiar la mesa.
- Sacar el molde con cuidado, levantarlo verticalmente y lo más rápido posible.
- Luego se eleva y se deja caer durante 15 veces, desde una altura de 12.5 mm en 15 segundos girando la manivela con una velocidad uniforme.
- Se determina el índice de consistencia calculando el tanto por ciento del aumento del diámetro, expresado en centímetros, de la base inferior del tronco del cono.
- Se toma como diámetro medio del concreto extendido, la media aritmética de seis mediciones del diámetro, distribuidas simétricamente.

5.4 Contenido de Aire. NTP 339.080

5.4.1 Definición:

El aire incorporado se encuentra en el concreto en forma de burbujas de dimensiones muy pequeñas y repartidas de forma homogénea. Su finalidad es mejorar la manejabilidad y aumentar la resistencia a las heladas.

La cantidad medida engloba el aire ocluido así como el aire que permanece en el concreto sin aditivo una vez vibrado. Cualquiera que sea la intensidad de vibración, queda siempre en el concreto sin aditivo de 0.5 a 2% de aire según la finura de la arena, las

dosificaciones de cemento y agua. La cantidad total de aire está frecuentemente comprendida entre el 3 y el 7% en concretos con aditivos incorporadores de aire.

5.4.2 Procedimiento:

- El procedimiento para el contenido de aire es similar que para el peso unitario, ya que para su calculo utilizaremos el método gavimétrico, en el cual haremos uso del peso unitario del concreto fresco.

$$CA=(PUL-PUD)\times 100/Punitario.$$

- CA = Contenido de aire en el concreto fresco.
PUD = Peso unitario nominal del concreto en Kg/m³, calculando como si no tuviera aire.
PUL = Peso unitario del concreto fresco en Kg/m³.

5.5 Exudación. NTP 339.077

5.5.1 Definición:

Es una forma de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado. Esto se origina con la incapacidad de los componentes sólidos para retener toda el agua cuando se asientan.

A consecuencia de la exudación, la parte superior de cada capa de concreto colocada puede quedar demasiado húmeda y, si el agua queda atrapada por el concreto superpuesto, da por resultado una capa porosa débil y no duradera de concreto. Si el agua exudada se vuelve a mezclar durante el acabado de la superficie superior, resultará una superficie de desgaste débil. Si la evaporación del agua de la superficie del concreto es más rápida que el índice de exudación, puede producirse un agrietamiento por contracción de fraguado plástico.

Además la acumulación en la superficie superior del concreto, parte del agua que sube queda atrapada debajo de partículas grandes del

agregado o del refuerzo, creando zonas de baja adherencia. Esa agua va dejando vacíos y, puesto que éstos quedan orientados en la misma dirección, la permeabilidad del concreto en un plano horizontal podría incrementarse. Una pequeña cantidad de vacíos está presente casi siempre, pero la exudación abundante debe evitarse, ya que aumenta el riesgo de daño por congelación. La exudación se manifiesta con frecuencia en forma de láminas delgadas, como caminos, en los cuales el congelamiento representa un riesgo considerable.

La exudación no es necesariamente dañina. Si no es interrumpida (y el agua se evapora), la relación efectiva de agua/cemento puede reducirse, con el consiguiente incremento de la resistencia. Por otra parte, si el agua que sube lleva consigo gran cantidad de las partículas más finas de cemento, se formará una capa de nata. Si ésta queda en la parte superior de un bloque, se formará una superficie porosa y con un aspecto polvoso permanente. En la parte superior se formará una capa débil y su adherencia con la siguiente será inadecuada. Por esta razón, la nata siempre debe ser removida mediante cepillado y lavado.

La tendencia a la exudación depende del contenido de agua de la mezcla, pero también de las propiedades del cemento. Será menor con cementos más finos y también influirá en ella algunos aspectos químicos; será menor cuando el cemento contenga mucho álcali o Aluminato tricalcico (C_3A) o cuando se añada cloruro de calcio ($CaCl$); aunque los dos últimos factores pueden producir otros efectos indeseables. Una mayor temperatura, dentro del rango normal, incrementa la tasa de exudación, aunque la capacidad de exudación total probablemente no resulte afectada. Las mezclas ricas son menos propensas a la exudación que las pobres; también se logra reducir la exudación añadiendo puzolana o polvo de aluminio. La penetración

de aire reduce eficazmente la exudación, para que después del colado se siga con el acabado sin demora.

5.5.2 Procedimiento:

- Verter la mezcla de concreto en el balde metálico de $\frac{1}{2} p^3$ en tres capas, compactando cada capa con 25 golpes, luego de llenar, proceder a nivelar y alisar la superficie del recipiente.
- Quitar aproximadamente 1" de espesor de mezcla.
- Pesar el recipiente con la mezcla a fin de obtener el peso de la muestra por diferencia.
- Enseguida a fin de facilitar la extracción del agua de exudación, colocar un taco de 5 cm de altura debajo de la base del molde metálico, con el objeto de inclinarla y el agua exudada se junte.
- Con una pipeta o jeringa extraer el agua exudada a intervalo de 10 minutos durante los primeros 40 minutos, y luego a intervalos de 30 minutos de allí en adelante hasta que cese la exudación. Después extraer el agua exudada se regresa el recipiente a su posición original.
- Cuando se requiere solamente el volumen total del agua exudada el procedimiento de extracción periódica puede ser omitido y la extracción se hará en una sola operación.

Datos previos: _ Peso de la muestra en Kg. (W muestra)
_ Cantidad total de agua exudada. (W agua exudada)

Datos de Diseño:

_ Cantidad de agua por m^3 en Kg. (W agua de diseño)
_ Peso total de materiales por m^3 de concreto. (W materiales)

$$\% \text{ de exudación} = W_{\text{ agua exudada}} / W_{\text{ agua de diseño}} * 100$$

5.6 Peso Unitario. NTP 339.046

5.6.1 Definición:

El peso unitario del concreto fresco, es el peso del concreto por unidad de volumen expresado en kg/m^3 , se emplea para determinar el rendimiento de las mezclas, el contenido de cemento y el contenido de aire.

Las variaciones del peso unitario de un amezcla, generalmente son debidas al tipo de agregados clasificándose así, en concretos normales ($2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$), densos ($2700\text{-}4500$) y livianos ($600\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$).

5.6.2 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 2 capas restantes y se realiza el mismo paso descrito anteriormente.
- En la ultima capa se coloca material en exceso para enrasar a tope con el material, para luego golpear ligeramente la superficie exterior del recipiente con el fin de eliminar los vacíos que pudieran haber quedado.
- Se procede a pesar el recipiente.

$$P_{\text{unit}} = P_c / V_b$$

P_c =Peso de concreto neto.

V_b =Volumen del recipiente.

5.7 Tiempo de fraguado. NTP 339.082

5.7.1 Definición:

El fraguado, es el proceso de endurecimiento del concreto, por lo tanto este ensayo tiene por finalidad determinar el tiempo que demora en endurecer y ganar resistencia, el mortero, (extraído de la mezcla del concreto) desde el ingreso de los materiales a la mezcladora.

La medida del principio y fin de fraguado se realiza corrientemente; permite tener una idea del comportamiento posterior del cemento en condiciones particulares de utilización como hormigonado en tiempo cálido o en tiempo frío.

Existen aparatos automáticos , pero la aguja de Vicat permanece como el procedimiento más empleado.

El tiempo de fraguado de la mezcla se ve afectada por lo siguientes factores :

- Variaciones en la dosificación de la mezcla
- Temperatura de la mezcla
- Temperatura ambiente
- Contenido de cemento en la mezcla
- Dimensiones del elemento de concreto
- Consistencia y relación agua/cemento
- Características de exudación
- Uso de aditivos

La influencia de la temperatura es muy importante. Un aumento de la temperatura disminuye el tiempo de fraguado y viceversa . Este fenómeno es aprovechado por los productores de prefabricados en la técnica de curado acelerado. A título indicativo la presente tabla da una idea de la mezcla comparando tiempos de fraguado iniciales y finales respecto a la temperatura.

CEMENTO DE FRAGUADO	PRINCIPIO DE FRAGUADO
Rápido	<8 min.
Semi-lento	8 a 30 min.
Lento (cemento corriente)	30 min a 6 hrs
Muy lento	> 6 hrs.

TABLA N°2.2.2

TEMPERATURA °C	5	20	50	100
Principio de fraguado (hrs.)	8	3	1	0.25
Fin de fraguado (hrs.)	15	6	2	0.33

5.7.2 Procedimiento:

- Se usará dos moldes cilíndricos para el ensayo, ellos deben tener 15 cm de diámetro y de 15 cm de altura.
- Debe contarse con un aparato hidráulico con capacidad de 60 kgf a 100 kgf provisto de un dispositivo medidor de presión y un medidor de carga con escala graduada.
- Preparamos una tanda de 0.02 m³ de concreto.
- Tamizamos la mezcla por la malla N4, la mezcla que pasa por dicha malla, mortero, es rellenada en los dos moldes cilíndricos.
- Se llena cada molde en 2 capas con 27 golpes cada capa hasta una altura mínima de 14 cm. Se golpea a los costados del molde para eliminar las burbujas de aire y luego se enrasa.
- Se dispone de 6 agujas cuyos diámetros son 11/8", 13/16", 9/16", 5/16", 4/16", 3/16".
- Se debe almacenar a temperatura ambiente y protegerse del sol para evitar el secado inmediato; antes del ensayo con la ayuda de una pipeta retirar del agua que haya exudado.
- Se anota la hora de inicio del ensayo.
- Según el estado de endurecimiento del mortero, se debe colocar el aparato con una aguja del tamaño apropiado y se pone esta en contacto con el mortero.
- Se aplica una fuerza vertical y uniformemente hacia abajo hasta lograr una penetración 25 mm.
- Se registra la fuerza aplicada, el área de la aguja de penetración y la hora del ensayo en posteriores ensayos de penetración se debe

tener cuidado en eludir sitios en los cuales el mortero ha sido alterado por penetraciones previas.

- La distancia libre entre agujas y el lugar de cualquier penetración anterior, debe ser al menos 2 veces el diámetro de la aguja que se use, pero en ningún caso, inferior a 15 mm. Se debe dejar una distancia libre entre la aguja y la pared de recipiente por lo menos de 25 mm.
- Para muestras normales y temperaturas normales, el primer ensayo se debe hacer cuando haya transcurrido 3 a 4 horas y los demás ensayos cada hora. Para mezclas aceleradas a altas temperaturas se recomienda hacer el primer ensayo cuando hayan transcurrido 1 a 2 horas y los demás ensayos a intervalos de 0.5 horas.
- Para condiciones de baja temperatura o mezclas retardantes, el primer ensayo se debe hacer cuando hayan transcurrido 4 horas o más, los posteriores deben llevarse a intervalos de 1 hora a menos que el incremento de resistencia a la penetración indique que son aconsejables a intervalos mas cortos.
- Para cada ensayo de fraguado se deben hacer por lo menos 6 penetraciones y los intervalos de tiempo entre ellas, serán tales que suministren puntos adecuados y lo suficientemente espaciados para dibujar una curva satisfactoria de velocidad de endurecimiento.

5.8 Relación de Cuadros:

5.8.1 Ensayo de consistencia del concreto fresco (método del cono de Abrams)

		Relación a/c		
Ensayo	Und	0.60	0.65	0.70
Slump obtenido	Pulgada	3 ½"	3 ½"	3 ½"

5.8.2 Ensayo de fluidez del concreto fresco

Relación a/c	Fluidez (%)
0.60	87.0
0.65	84.0
0.70	83.0

5.8.3 Contenido de aire en el concreto fresco.

		Relación a/c		
Propiedad	Und	0.60	0.65	0.70
Contenido de Aire	%	0.13	1.35	1.65

5.8.4 Ensayo de exudación del concreto fresco.

		Relación a/c		
Propiedad	Und	0.60	0.65	0.70
Exudación Total	%	0.84	1.12	1.10

5.8.5 Ensayo de peso unitario del concreto fresco.

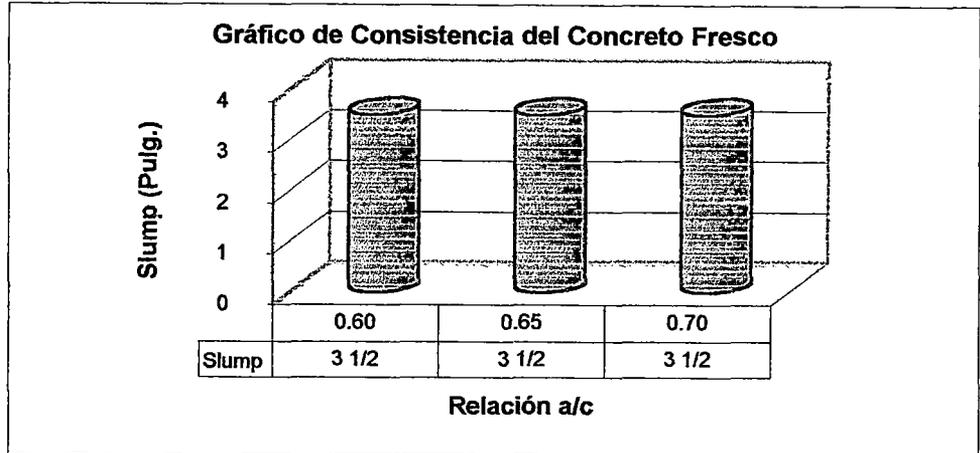
		Relación a/c		
Propiedad	Und	0.60	0.65	0.70
Peso Unitario Real	Kg/m ³	2359.09	2387.34	2394.41
Peso Unitario de Diseño	Kg/m ³	2356.00	2355.00	2355.00
Rendimiento	%	99.87	98.65	98.35

5.8.5 Ensayo de Tiempo de fraguado en el concreto fresco.

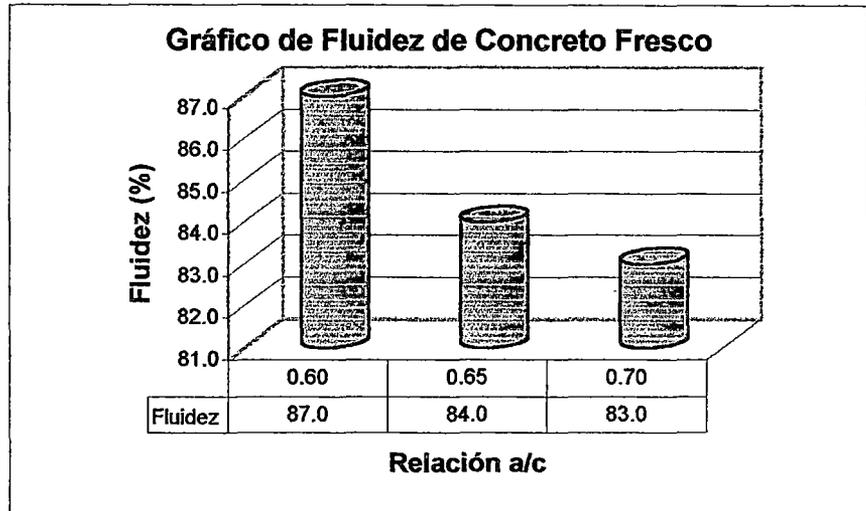
		Relación a/c		
Propiedad	Und	0.60	0.65	0.70
Tiempo de fraguado inicial	Horas	03:56	04:02	04:38
Tiempo de fraguado final	Horas	05:16	06.12	05:05

5.9 Relación de gráficos:

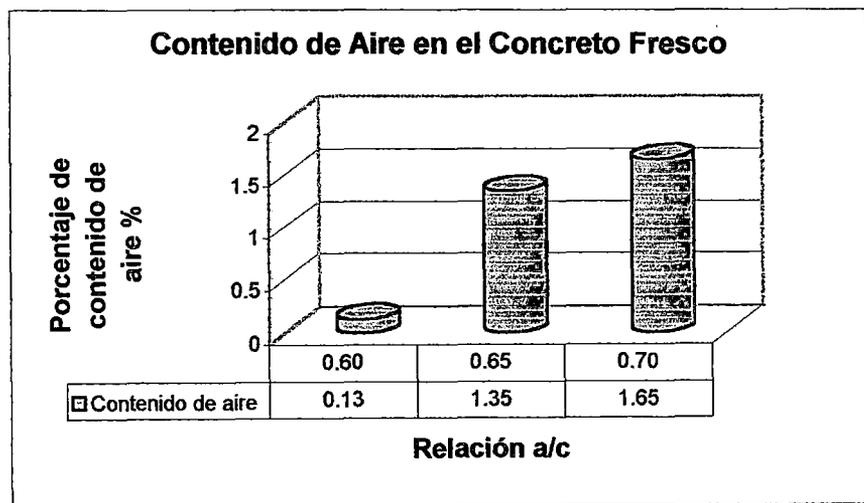
5.9.1 Ensayo de consistencia del concreto fresco.



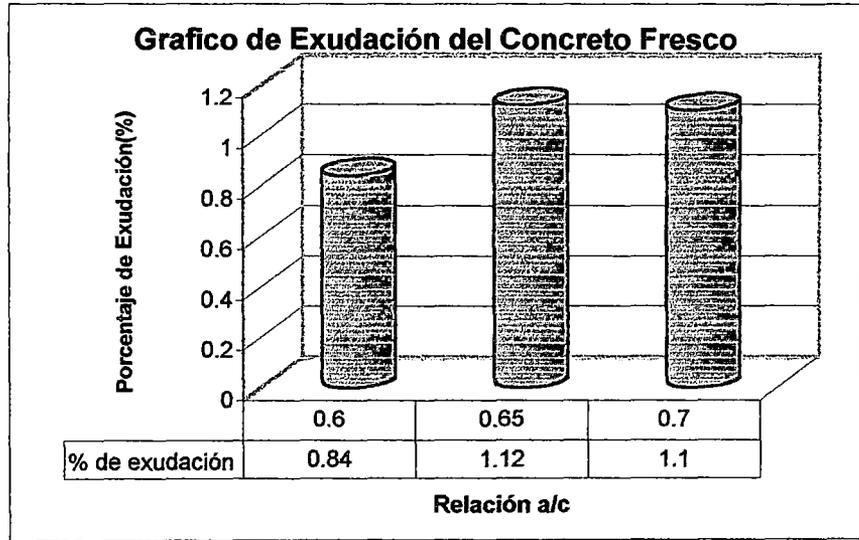
5.9.2 Ensayo de fluidez del concreto fresco.



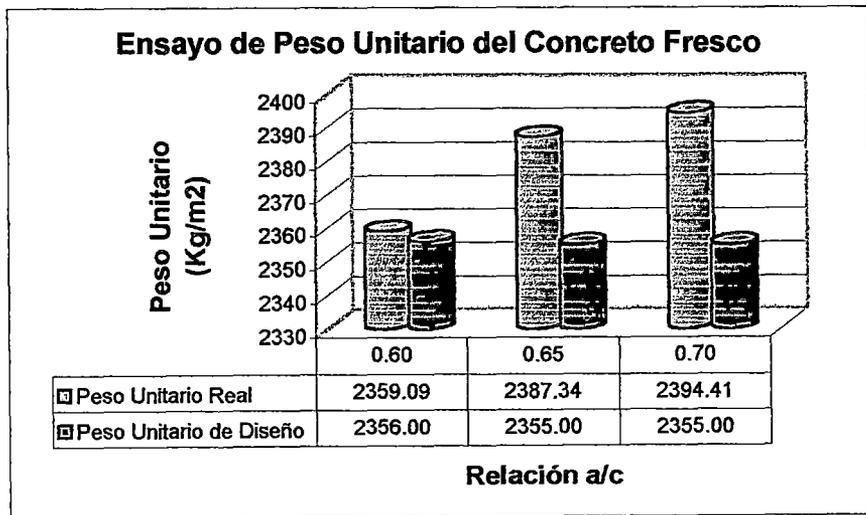
5.9.3 Ensayo de contenido de aire en el concreto fresco.



5.9.4 Ensayo de exudación del concreto fresco.

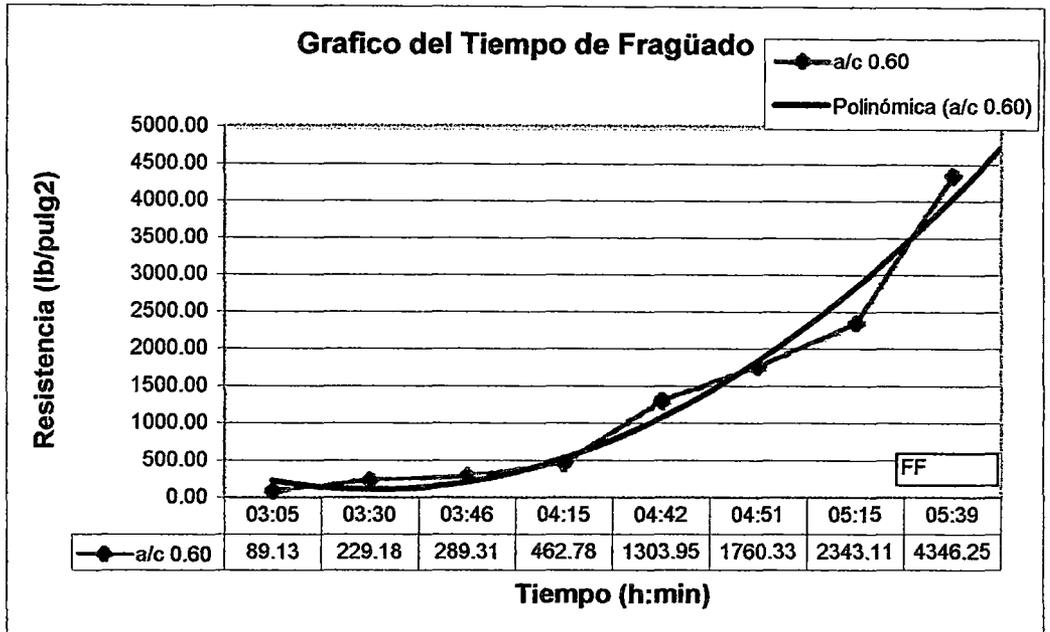


5.9.5 Ensayo de peso unitario del concreto fresco.

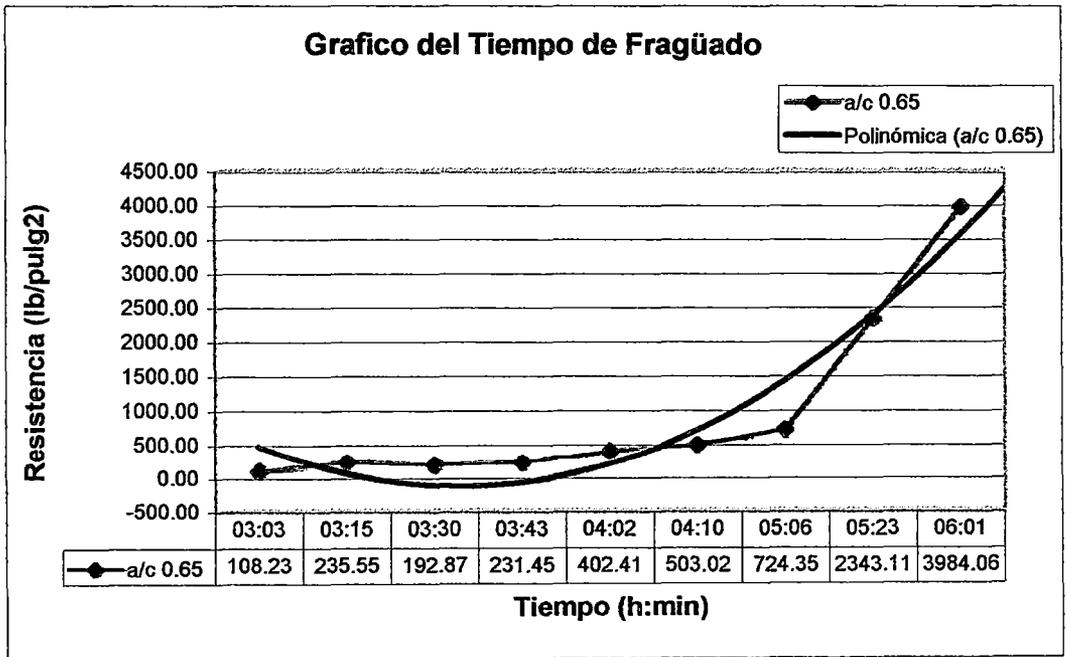


5.9.6 Ensayo de Tiempo de fraguado en el concreto fresco.

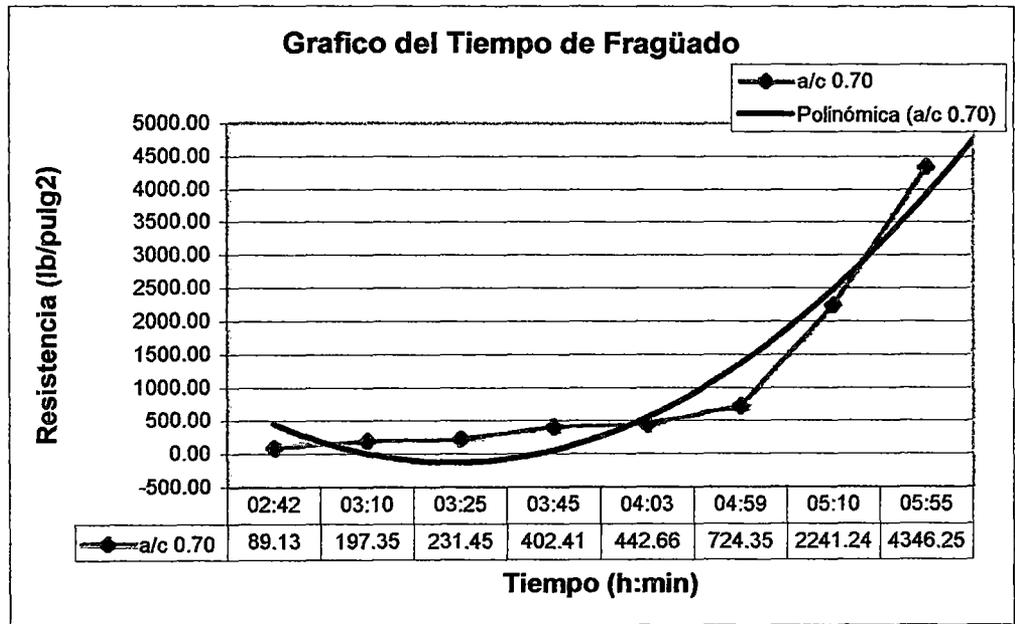
Relación a/c 0.60



Relación a/c 0.65



Relación a/c 0.70



CAPITULO VI

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

6.1 Introducción:

Cuando el concreto ha fraguado; se inicia el proceso de endurecimiento que lo conduce a la adquisición de propiedades físicas y mecánicas, cuyo desarrollo suele representarse mediante la evolución de la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto, que es determinada en especímenes representativos en varias edades . Sin embargo en los estudios del concreto elaboramos varios ensayos para poder determinar todas las características del concreto diseñado.

En este trabajo de investigación se han realizado los ensayos de resistencia a la compresión para las edades siguientes : 7, 14, 28 y 42 días esto para lograr un mejor estudio de su comportamiento.

6.2 Procedimiento de preparación de las probetas de concreto (estándar 6x12")

- Una vez elaborada la mezcla de concreto, se procede a llenar a las probetas de 15x30 cm. (6x12") en tres capas, compactando cada capa con 25 golpes verticales mediante una varilla lisa de 5/8" con punta semiesférica, uniformemente repartidos de afuera hacia adentro en forma de espiral.
- Después de llenar el molde se procede a golpear suavemente las paredes del molde, utilizando la varilla para eliminar los vacíos que pudieran haber quedado.
- Se enrasa la superficie del molde a fin de obtener una superficie plana.
- Las probetas deberán retirarse del molde al cabo de 20⁺. 4h, después de elaborados. En estas horas iniciales, se deben almacenar sobre una superficie horizontal evitando golpes o vibraciones.

- Después de retirados del molde las probetas deben almacenarse a temperatura permanente entre $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y bajo condiciones de humedad tales que siempre se mantenga agua libre en toda su superficie (por ejemplo sumergidos totalmente en agua saturada en cal).
- Para conseguir la aplicación uniforme de la carga por parte de la prensa hidráulica se procede a refrendar los extremos de las probetas empleando una mezcla de azufre y de material granuloso (camping).

6.3 Resistencia a la Compresión NTP 339.034

6.3.1 Definición:

La resistencia mecánica del concreto frecuentemente se identifica con la resistencia a la compresión, porque ésta representa la condición de carga en que el concreto exhibe mayor capacidad para soportar esfuerzos, de modo que la mayoría de las veces los elementos estructurales se diseñan con el fin de utilizar esta propiedad del concreto. Aunado a ello, existe la ventaja de que la resistencia a compresión es la característica más fácil y confiablemente determinable en el concreto endurecido, aunque no es una propiedad tan precisamente definida como pudiera suponerse debido a un cierto número de factores y condiciones cambiantes que intervienen en su determinación ; por tal motivo, es necesario reglamentar las condiciones y procedimientos para determinarla .

Los ensayos de compresión para este trabajo de investigación se realizaron a los 7, 14, 28 y 42 días de curado.

6.3.2 Procedimiento:

- Mediciones : El diámetro de la probeta se determina, mediante un calibrador a colisa, con la aproximación de 0.1 mm promediando las longitudes de dos diámetros normales en la zona central de la probeta. La altura de la probeta, incluyendo las capas de terminado se miden con aproximación de un milímetro.

- Colocación de la probeta: Antes de iniciar cada ensayo, se limpian cuidadosamente las superficies planas de contacto de los bloques superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta.
- Se coloca la probeta sobre el bloque inferior de apoyo, y se encuentra sobre la superficie del mismo, tratando que la probeta quede centrada en el bloque superior.
- Al iniciarse el acercamiento de la probeta al bloque superior, la parte móvil de éste se hace rotar suavemente en forma manual, con el fin de facilitar un contacto uniforme y sin choques con la base superior de la probeta.
- Velocidad de carga : Es fundamental aplicar la carga en forma continua, evitando choques. Si la máquina es a tornillo, el avance es de 1.25 mm/min y si es del tipo hidráulico el incremento de la carga será entre 116 Kpa (1.16 kg/cm²) y 350 Kpa (3.50 kg/cm²) por segundo, pudiendo hacerse más rápidamente mientras se aplica la primera mitad de la carga. Esta velocidad es aproximadamente equivalente, para la probeta cilíndrica normal de 152 mm de diámetro y 305 mm de altura, a una velocidad de aplicación de carga comprendida entre 21 N/s (210 kg/s) y 63 N/s (630 kg/s)
- Se continúa aumentando la carga hasta producir la rotura de la probeta registrando el valor de la carga máxima, el tipo de rotura y además toda otra observación relacionada con el aspecto del hormigón en la zona de rotura.
- En los momentos finales del ensayo, cuando la probeta se deforma rápidamente ,no se debe modificar la velocidad de aplicación de la carga.

6.4 Resistencia a la tracción por compresión diametral. NTP 339.084

6.4.1 Definición:

La fabricación de probetas destinadas a ensayos de tracción directa o por el método brasileño, se realiza de igual forma que en el caso de las probetas destinadas a los ensayos de compresión.

Consiste en romper la probeta entre los dos platos de una prensa de compresión según dos generatrices opuestas. El contacto de los platos con la probeta se realiza por intermedio de regleteas de contraplacado de 5 mm de espesor, su anchura es de 1/10 del diámetro del cilindro. Es necesario que el centrado sea perfecto. En general, los moldes de cartón no permiten el enmoldado de probetas para el ensayo a causa de las espiras de cartón que dejan irregularidades a lo largo de las generatrices.

Este ensayo se realiza a 28 días de curado del concreto cuando este ya alcanzado su resistencia adecuada.

6.4.2 Procedimiento.

Prueba Brasileña $T=(2xP)/(\pi*D*L)$

P = Fuerza de Compresión.

D = Diámetro.

L = Longitud de Cilindro.

- Antes de la prueba debe procederse a determinar la longitud.
- Si las dimensiones de la placa de apoyo de la máquina de compresión, son menores que la longitud del cilindro, debe interponerse una platina suplementaria de acero maquinado, de por lo menos de 50 mm de ancho y espesor no menor que la distancia entre el borde de las placas de apoyo y el extremo del cilindro.
- Debe colocarse entre el cilindro y la superficie de los cabezales de la máquina de ensayo o eventualmente la platina suplementaria de ser utilizada, tablillas de madera contraplacadas, de 3 mm de

espesor y 25 mm de ancho, a lo largo de toda la longitud del cilindro, con el fin de que la probeta al momento de realizar la prueba se mantenga quieta.

- Se aplica la carga a la probeta con una velocidad en forma continua evitando el impacto.
- La velocidad de aplicación de la carga indicada para probetas normales está comprendida entre 5000 y 1000 N/min hasta la rotura.

6.5 Relación de cuadros:

6.5.1 Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 y 42 días.

Probetas 6x12"

Edad	Relación agua-cemento		
	0.60	0.65	0.70
7	204.020	197.085	136.433
14	236.798	207.556	196.705
28	272.956	243.029	225.968
42	284.315	260.091	236.677

6.5.2 Valores porcentuales de la resistencia a la compresión (Probeta 6x12")

Edad	Porcentaje (%)			
	0.60	0.65	0.70	PROM.
7	74.74	81.10	60.38	72.07
14	86.75	85.40	87.05	86.40
28	100.00	100.00	100.00	100.00
42	104.16	107.02	104.74	105.31

6.4.3 Resistencia a la tracción por compresión diametral

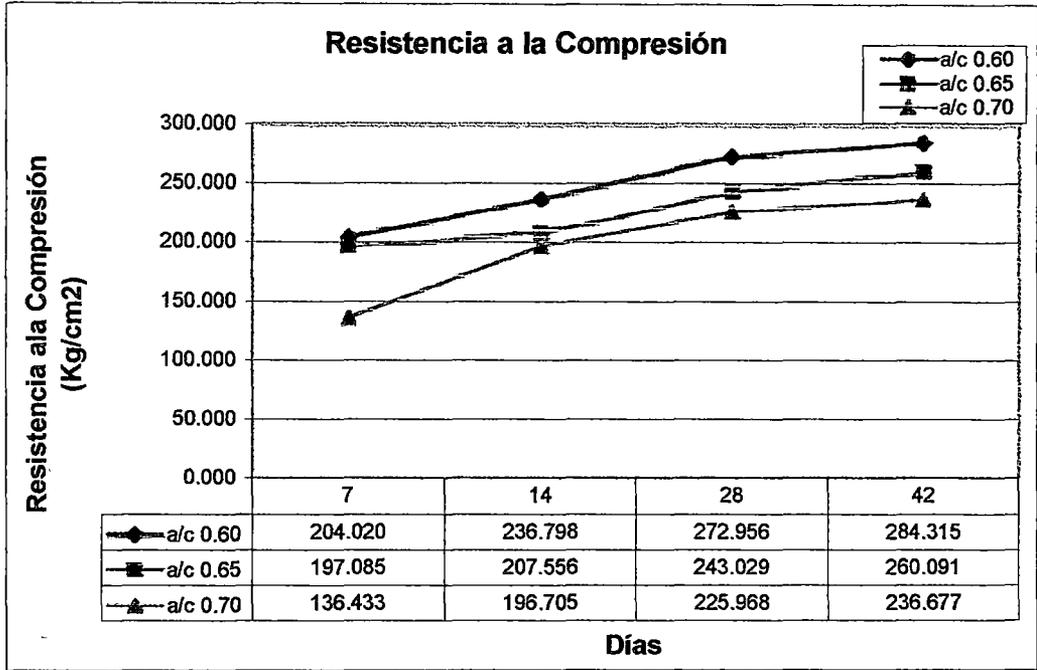
Relación a/c	Resist. a la tracción Kg/cm ²
0.60	30.54
0.65	26.37
0.70	21.49

6.6 Relación de gráficos:

6.6.1 Gráfico de la Resistencia a la compresión.

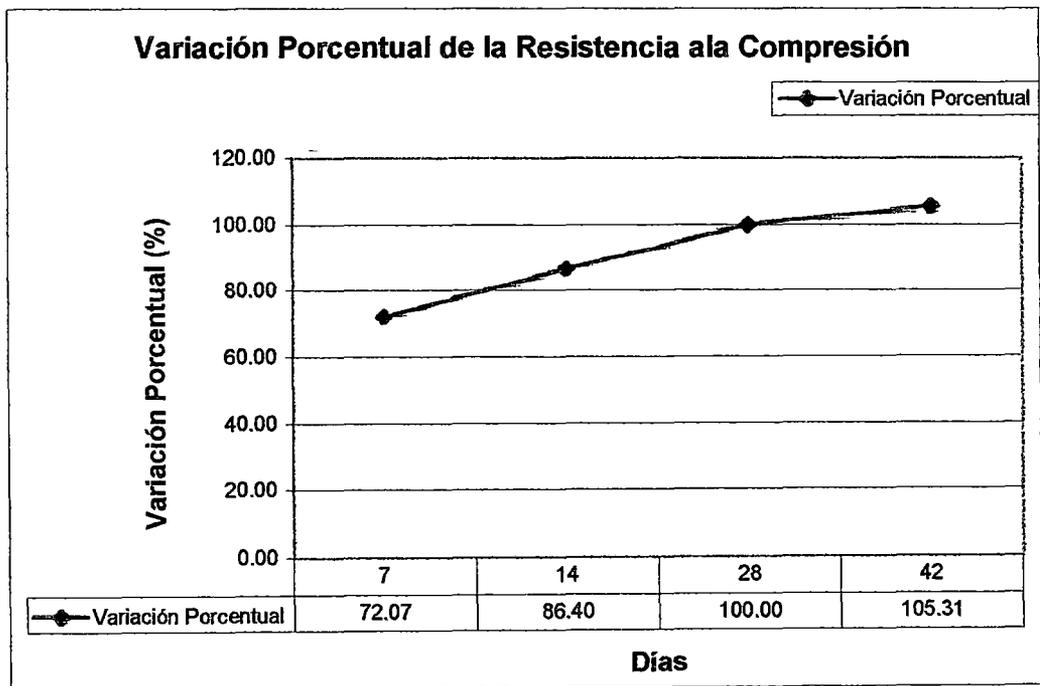
Días: 7, 14, 28 y 42 días

Probetas: 6x12"

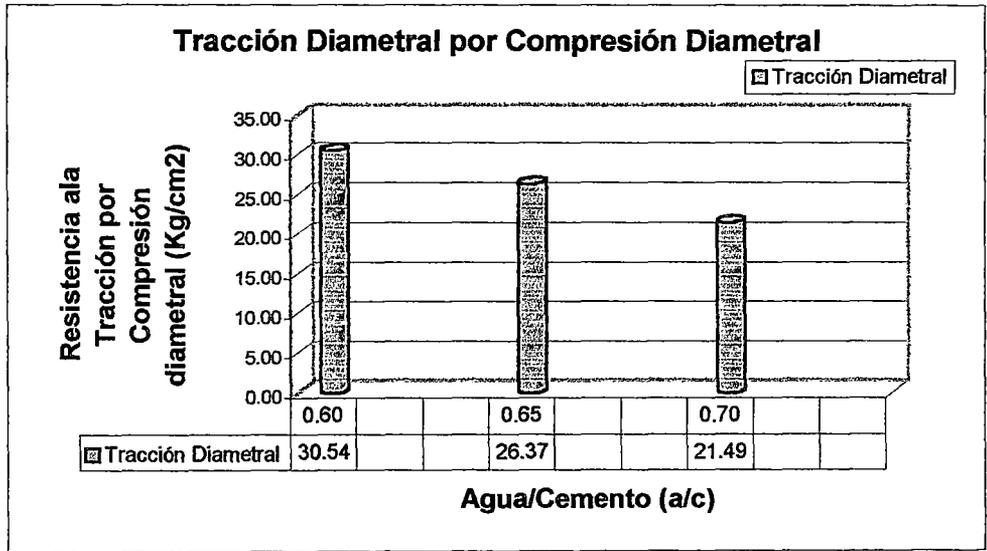


6.6.2 Gráfico de la variación porcentual de la resistencia a la compresión.

Días: 7, 14, 28 y 42, variación porcentual con respecto a los 28 días.



6.6.3 Gráfico de la resistencia a la tracción por compresión diametral.



CAPITULO VII

ENSAYOS ACELERADOS DE CORROSION EN CONCRETO ENDURECIDO

7.1 Introducción

Como ya se ha mencionado, la resistencia frente a un ataque químico constituye un problema de bastante complicación. Mientras no se averigüen cuáles son los factores decisivos, persistirá el interés por encontrar un método de ensayo, que permita prever la resistencia frente a los agentes agresivos, basándose en ensayos de laboratorio que no requieran de un plazo muy dilatado

En múltiples oportunidades se ha intentado desarrollar un método técnico apropiado para la investigación de los procesos de corrosión. *“La elección de un método de investigación adecuado es de una importancia capital para el conocimiento de las condiciones básicas de un proceso de corrosión, para la determinación de sus causas, así como para la aplicación de los resultados obtenidos”*. La realización de estos estudios se ve dificultada por la lentitud con los que los procesos de corrosión se desarrollan en la naturaleza. Por lo tanto, es necesario de disponer de métodos que nos permitan acelerar el desarrollo de dichos procesos corrosivos, y que se puedan reproducir en el laboratorio en la misma forma en que realmente se produce en un concreto expuesto a un medio agresivo.

De la misma manera, es necesario que el proceso acelerado de corrosión difiera lo menos posible del que tiene lugar en la naturaleza.

Estos ensayos acelerados tienen por objeto determinar de forma inmediata la corrosión producida por diversos fluidos agresivos, en este caso en una concentración de sulfato de magnesio 100 gr/lt, en los concretos y morteros fabricados con diferentes clases de cemento y con diferentes dosificaciones.

La meta final es el desarrollo de una técnica de investigación, mediante la cual se pueda hacer descender el plazo de los ensayos de corrosión a algunas semanas sin influir en el proceso mismo de corrosión. Si se alcanzase esta meta, se podría analizar más rápido este proceso corrosivo y determinar las acciones correctivas a tomar.

7.2 Corrosión acelerada por sulfato de magnesio

En este trabajo de investigación se realizaron dos ensayos acelerados de corrosión los cuales son: Ensayo de humedecido, secado y pérdida de peso que fue propuesto por el Ing. José Luis Díaz Lazo (tesis: "Corrosión del cemento por ataques de sulfatos") y el Ensayo de compresión a los 30, 60, 90 y 120 días a muestras sumergidas en una solución de sulfato de magnesio.

Para realizar estos ensayos se utilizaron probetas 4x8", por las siguientes razones:

- La gran cantidad de probetas que se utiliza en los ensayos de humedecido y secado por pérdida de peso y en el ensayo de resistencia a la compresión obliga a utilizar estas probetas.
- El proceso de la corrosión se puede visualizar mejor en muestras de menor tamaño.
- Por la superficie de contacto entre la probeta y el agente agresivo.
- Sobre todo por el fácil traslado, manejo, maniobrabilidad y economía que brinda este tipo de probetas 4x8".

7.2.1 Procedimiento de preparación de las probetas de concreto de 4x8"

7.2.1.1.1 Mezclado de los materiales

1. Realizar el pesado de los materiales: Cemento, agregado fino, agregado grueso y agua para la tanda diseñada.
2. Echar el agregado grueso en la mezcladora y con ayuda del badilejo acomodar el material al interior de la mezcladora.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

3. Enseguida echar el agregado fino.
4. Combinar ambos materiales por espacio de 1 a 2 minutos, a fin de tener una combinación homogénea de los agregados.
5. Luego se apaga la mezcladora y se echa el cemento, con la ayuda del badilejo acomodar el material al interior de la mezcladora, enseguida proceder al mezclado de los tres materiales por espacio de 1-2 minutos, esto con el fin de lograr una buena combinación de los materiales.
6. Enseguida echar el agua gradualmente, poco a poco, a fin de evitar que se formen grumos o bolas.
7. Una vez terminada la preparación de la mezcla se procede a llenar los moldes metálicos de 4x8".

7.2.1.1.2 Llenados de los moldes (Probetas metálicas 4x8")

1. Se llena el molde en tres capas y cada capa se compacta con 25 golpes de afuera hacia adentro en forma de espiral. El equipo de compactación empleado es el mismo que se empleo en probetas de 6x12".
2. Al termino del llenado del molde, se enrasa la superficie con ayuda de un badilejo a fin de obtener una superficie uniforme libre de protuberancias.

7.2.1.1.3 Desmoldeo.

1. Las probetas deberán retirarse del molde al cabo de 20+/- 4h, después de elaborados.
2. En estas horas iniciales, las probetas deben estar en una superficie horizontal evitando golpes y vibraciones. La temperatura debe estar entre 16°C y 27°C y en condiciones que prevengan toda perdida de humedad.

7.2.1.1.4 Curado.

Después de retiradas del molde las probetas deben almacenarse a temperatura permanente entre $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, caso práctico sumergirlas en toda su superficie en aguas saturadas de cal. El tiempo de duración del curado para realizar el ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso es de 28 días como mínimo antes de ser ensayadas.

Para el ensayo de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días sumergidos en una solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt, también requiere de un curado en agua normal de 28 días.

También se requiere de probetas 4x8" adicionales con un curado de 7, 14 y 28 días para determinar el factor de extrapolación que nos permita convertir las resistencias a la compresión de las probetas 4x8" sumergidas en sulfato de magnesio a resistencias a la compresión de probetas 6x12".

7.2.2 Ensayo de Humedecido, Secado y pérdida de Peso (Propuesto por el Ing. José Luis Díaz Lazo).

7.2.2.1 Objetivo:

El objetivo de estos ensayos es determinar el proceso de corrosión en las probetas de concreto endurecido mediante ciclos de humedecido y secado cuya secuencia de ensayo es humedecer en una solución de sulfato de magnesio, secarlo en el horno seco y proceder al pesado de la muestra; de esta forma determinar el proceso corrosivo, estos ciclos de humedecido y secado concluirán cuando la probeta muestre señales de fisuración.

7.2.2.2 Equipos:

- Horno artesanal, que calienta a una temperatura de 105°C a 110°C , este horno tiene como fuente de calor un primus de kerosene.

- Primus o calentador a kerosene.
- Balanza digital (para el pesado de las probetas 4x8")
- Cilindros plásticos para almacenar la solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt).
- Balanza manual (para el pesado de los materiales a mezclar).
- Alicates.
- Moldes cilíndricos de metal 4x8".
- Mezcladora de tipo epicíclico.
- Carretillas.
- Probeta graduada de 100 ml.
- Badilejo.
- Varilla lisa de 5/8"
- Petróleo para la limpieza y mantenimiento de los moldes de probeta metálica.
- Lijas de fierro grado 40 para la limpieza de los moldes metálicos de 4x8" y 6x12".
- 2 Poza para el curado normal de las probetas.

7.2.2.3 Proceso de Ensayo:

Ensayo de corrosión

FASES DE UN CICLO DE ENSAYO

Fase inicial.

1. Secado de las probetas de concreto 4x8" en horno seco a una temperatura de 105°C a 110°C durante 3 a 4 horas.
2. Pesado de la probeta seca. (C1)
 - a. Inmersión de las probetas en solución diluida de $MgSO_4$ con una concentración de 100 gr/lt durante 20+/-4h.

- b. Secado de las probetas de concreto 4x8" en horno seco a una temperatura de 105°C a 110°C durante 3 a 4 horas.
- c. Dejar enfriar las probetas durante 2h a 3h.
- d. Anotaciones de las variaciones del estado de las probetas.
- e. Pesado de las probetas secas. (C2) 2^{do} ciclo.

7.2.3 Ensayo de compresión a los 30, 60, 90 y 120 días a muestras sumergidas en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lit.

Proceso de ensayo para determinar la corrosión en las probetas de concreto endurecido mediante la compresión o rotura.

7.2.3.1 Objetivo:

El objetivo de este proceso de ensayos determinar la corrosión en las probetas de concreto 4x8" endurecido mediante la resistencia a la compresión, para lo cual se sumergirá dichas muestras en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100gr/l .Las probetas de concreto de 4x8" después de 30 días,60 días, 90 días y 120 días de inmersión se procederán a determinar la resistencia a la compresión y observar la variación de las mismas con respecto al concreto patrón. (Probetas 6x12")

7.2.3.2 Equipos:

- Equipo de rotura: Máquina Hidráulica para la compresión de 120 Tn. y tablero de lectura manual.
- Vernier simple.
- Moldes cilíndricos de metal 4x8".
- Mezcladora de tipo epicíclico.

- Carretillas.
- Molde capeador para probetas de concreto 4x8".
- Dos recipientes con capacidad de 01 galón cada uno.
- Probeta graduada de 100 ml.
- Badilejo.
- Varilla lisa de 5/8".
- Dos cucharones de aproximadamente 2 Kg. de capacidad cada uno.
- Petróleo para la limpieza y mantenimiento de los moldes de probeta metálica.
- Lijas de fierro grado 40 para la limpieza de los moldes metálicos de 4x8" y 6x12".
- cilindros plásticos para almacenar la solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt).
- Pozas para el curado normal de las probetas

7.2.3.3 Proceso de Ensayo.

Ensayo de corrosión

Se determinará la resistencia f_c (Kg/cm²) de las probetas de concreto 4x8" al cabo de 30, 60, 90 y 120 días de inmersión en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/l.

CICLO DE ENSAYO:

Los pasos de un ciclo de ensayo son los siguientes.

- a. Secado de las probetas de concreto 4x8" a temperatura ambiente de 1 ½ h a 2h.
- b. Capeado de las muestras y dejar secar por espacio de ½ h a 1h.
- c. Rotura de la probeta de concreto 4x8" en la máquina de compresión.

7.2.4 Relación de Cuadros y Gráficos del Ensayo de Humedecido, Secado y Pérdida de Peso.

7.2.4.1 Relación de Cuadros

Relación agua/cemento 0.60

- Cuadro 7.1.1: Cuadro de Ensayos de Durabilidad.
- Cuadro 7.1.2 al 7.1.4: Cuadro Resumen de Variación de Pesos Acumulados.
- Cuadro 7.1.5 al 7.1.7: Cuadro Resumen de Variación de Pesos Consecutivos.
- Cuadro 7.1.8 al 7.1.10: Cuadro Pérdida de Material Acumulado.
- Cuadro 7.1.11: Cuadro Máximos y Mínimos.

ENSAYOS DE DURABILIDAD

A. ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CICLOS DE ENSAYO DE HUMEDECIDO, SECADO Y PERDIDA DE PESO

Cuadro 7.1.1

RELACION a/c 0.60

MUESTRAS	CICLOS DE ENSAYO / PERDIDA DE PESO (gr.)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
M1	3898.5	3899.5	3891.5	3893.0	3896.0	3895.5	3893.0	3904.5	3899.0	3888.0	3889.0	3888.0	3885.0	3879.0
M2	3907.0	3910.0	3914.0	3907.5	3911.5	3907.0	3902.0	3909.0	3907.5	3902.0	3907.0	3898.0	3898.5	3895.0
M3	4023.5	3997.0	4013.0	4014.0	4016.5	4015.5	4015.0	4025.0	4024.5	4022.0	4004.5	4010.0	4008.5	4002.5
M4	3972.5	3985.5	3951.5	3968.0	3966.5	3974.0	3959.5	3983.5	3979.5	3976.0	3978.5	3979.0	3976.0	3973.0
M5	4056.0	4057.0	4061.5	4057.5	4061.0	4056.0	4052.5	4064.5	4060.0	4057.5	4055.5	4052.5	4049.5	4045.0
M6	4047.5	4038.0	4039.0	4045.5	4047.5	4045.5	4040.5	4057.0	4056.5	4051.5	4043.0	4046.0	4044.0	4036.5
M7	3919.5	3921.5	3926.5	3921.0	3923.5	3923.5	3923.5	3935.0	3930.0	3918.0	3926.5	3923.5	3922.0	3915.5
M8	4025.0	4017.0	4021.0	4011.0	4002.0	4011.5	4012.5	4030.0	4029.0	4023.5	4025.5	4023.5	4030.0	4014.0
M9	4046.5	4055.0	4057.5	4057.0	4058.5	4055.0	4054.5	4066.5	4065.5	4060.5	4057.5	4057.5	4056.5	4050.5
M10	3901.5	3905.5	3911.5	3912.5	3914.0	3905.5	3907.0	3909.0	3912.0	3905.0	3911.5	3910.5	3907.0	3902.0
M11	4029.5	4025.5	4016.5	4022.0	4018.5	4022.0	4015.0	4029.0	4022.0	4023.5	4018.0	4017.5	4015.5	4010.0
M12	3941.5	3945.5	3931.5	3940.0	3943.0	3941.5	3939.0	3946.0	3947.5	3943.5	3945.5	3939.0	3938.0	3933.0
M13	3924.5	3923.5	3916.5	3909.0	3912.5	3918.5	3906.0	3916.5	3917.5	3907.5	3913.5	3913.0	3908.5	3903.0
M14	4038.0	4036.0	4008.0	4019.5	4023.0	4018.0	4019.0	4034.5	4030.5	4017.0	4026.0	4015.0	4017.0	4013.0
M15	4016.0	4024.5	4032.0	4027.5	4025.0	4030.0	4031.0	4043.5	4038.0	4035.0	4036.5	4031.0	4028.0	4023.5
M16	4129.0	4122.0	4105.0	4113.0	4111.5	4114.0	4116.5	4138.5	4138.0	4135.0	4136.5	4128.0	4128.5	4117.5
M17	4061.5	4028.0	4010.5	4027.5	4033.5	4029.0	4025.5	4041.5	4041.0	4032.5	4038.0	4031.5	4030.5	4024.5
M18	3957.0	3959.0	3954.5	3956.0	3963.5	3957.5	3959.0	3972.0	3969.5	3967.0	3971.0	3970.0	3966.5	3961.0
M19	4026.0	4032.5	4029.5	4031.5	4036.5	4016.5	4020.0	4035.5	4034.0	4028.5	4032.0	4022.0	4019.5	4014.0
M20	4032.5	4033.0	4035.0	4036.0	4041.0	4038.0	4037.5	4040.0	4040.0	4035.0	4030.5	4032.0	4029.5	4022.5
M21	3983.0	3986.0	3987.0	3987.0	3987.5	3985.5	3985.0	3980.5	3984.5	3977.5	3979.5	3975.5	3975.0	3969.5
M22	4048.0	4050.5	4044.5	4049.0	4054.5	4037.0	4041.0	4057.5	4055.5	4046.0	4049.5	4042.5	4039.0	4034.0
M23	4115.5	4116.0	4100.0	4103.5	4103.5	4094.5	4095.0	4107.0	4105.5	4101.0	4096.0	4098.0	4095.5	4086.0
M24	3990.5	3993.0	3986.0	3987.0	3988.0	3981.5	3981.0	3992.5	3988.0	3986.5	3987.0	3987.0	3983.5	3978.5
M25	3979.0	3982.0	3947.0	3961.5	3960.5	3981.5	3980.0	3993.5	3984.0	3981.5	3985.5	3984.0	3977.5	3973.5
M26	4022.5	4026.5	4016.0	4020.5	4029.0	4024.5	4015.0	4027.5	4024.5	4023.5	4023.5	4023.5	4019.5	4015.0
M27	4010.0	4011.0	4012.5	4011.0	4012.0	4011.5	4003.5	4016.0	4015.5	4007.0	4009.5	4005.5	4004.5	3998.0
M28	3990.0	3991.0	3990.0	3991.0	3993.0	3980.0	3971.5	3993.0	3982.0	3979.5	3982.0	3981.0	3975.0	3970.0
M29	3859.5	3867.0	3868.0	3869.5	3874.0	3872.0	3864.5	3878.0	3878.5	3875.5	3879.0	3877.5	3874.0	3869.0
M30	3995.0	3996.0	4008.0	4008.0	4005.0	4028.5	4027.0	4040.5	4039.0	4034.0	4037.0	4027.0	4025.5	4018.5

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 1 AL10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.2

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.03	0.08	-0.66	0.33	0.02	-0.23	0.05	-0.20	0.21	0.10
3	-0.18	0.18	-0.26	-0.53	0.14	-0.21	0.18	-0.10	0.27	0.26
4	-0.14	0.01	-0.24	-0.11	0.04	-0.05	0.04	-0.35	0.26	0.28
5	-0.06	0.11	-0.17	-0.15	0.12	0.00	0.10	-0.57	0.30	0.32
6	-0.08	0.00	-0.20	0.04	0.00	-0.05	0.10	-0.33	0.21	0.10
7	-0.14	-0.13	-0.21	-0.33	-0.09	-0.17	0.10	-0.31	0.20	0.14
8	0.15	0.05	0.04	0.28	0.21	0.23	0.39	0.12	0.49	0.19
9	0.01	0.01	0.02	0.18	0.10	0.22	0.27	0.10	0.47	0.27
10	-0.27	-0.13	-0.04	0.09	0.04	0.10	-0.04	-0.04	0.34	0.09
11	-0.24	0.00	-0.47	0.15	-0.01	-0.11	0.18	0.01	0.27	0.26
12	-0.27	-0.23	-0.34	0.16	-0.09	-0.04	0.10	-0.04	0.27	0.23
13	-0.35	-0.22	-0.37	0.09	-0.16	-0.09	0.06	0.12	0.25	0.14
14	-0.50	-0.31	-0.52	0.01	-0.27	-0.27	-0.10	-0.27	0.10	0.01

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.3

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-0.10	0.10	-0.03	-0.05	0.21	-0.17	-0.82	0.05	0.16	0.01
3	-0.32	-0.25	-0.20	-0.74	0.40	-0.58	-1.26	-0.06	0.09	0.06
4	-0.19	-0.04	-0.39	-0.46	0.28	-0.39	-0.84	-0.03	0.14	0.09
5	-0.27	0.04	-0.31	-0.37	0.22	-0.42	-0.69	0.16	0.26	0.21
6	-0.19	0.00	-0.15	-0.50	0.35	-0.36	-0.80	0.01	-0.24	0.14
7	-0.36	-0.06	-0.47	-0.47	0.37	-0.30	-0.89	0.05	-0.15	0.12
8	-0.01	0.11	-0.20	-0.09	0.68	0.23	-0.49	0.38	0.24	0.19
9	-0.19	0.15	-0.18	-0.19	0.54	0.22	-0.50	0.31	0.20	0.19
10	-0.15	0.05	-0.43	-0.52	0.47	0.14	-0.71	0.25	0.06	0.06
11	-0.29	0.10	-0.28	-0.30	0.51	0.18	-0.58	0.35	0.15	-0.05
12	-0.30	-0.06	-0.29	-0.57	0.37	-0.02	-0.74	0.33	-0.10	-0.01
13	-0.35	-0.09	-0.41	-0.52	0.30	-0.01	-0.76	0.24	-0.16	-0.07
14	-0.48	-0.22	-0.55	-0.62	0.19	-0.28	-0.91	0.10	-0.30	-0.25

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.4

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.08	0.06	0.01	0.06	0.08	0.10	0.02	0.03	0.19	0.02
3	0.10	-0.09	-0.38	-0.11	-0.80	-0.16	0.06	0.00	0.22	0.32
4	0.10	0.02	-0.29	-0.09	-0.44	-0.05	0.02	0.03	0.26	0.32
5	0.11	0.16	-0.29	-0.06	-0.46	0.16	0.05	0.08	0.37	0.25
6	0.06	-0.27	-0.51	-0.23	0.06	0.05	0.04	-0.25	0.32	0.83
7	0.05	-0.17	-0.50	-0.24	0.03	-0.19	-0.16	-0.46	0.13	0.79
8	-0.06	0.23	-0.21	0.05	0.36	0.12	0.15	0.08	0.48	1.13
9	0.04	0.18	-0.24	-0.06	0.13	0.05	0.14	-0.20	0.49	1.09
10	-0.14	-0.05	-0.35	-0.10	0.06	0.02	-0.07	-0.26	0.41	0.97
11	-0.09	0.04	-0.47	-0.09	0.16	0.02	-0.01	-0.20	0.50	1.04
12	-0.19	-0.14	-0.43	-0.09	0.13	0.02	-0.11	-0.23	0.46	0.79
13	-0.20	-0.22	-0.49	-0.18	-0.04	-0.07	-0.14	-0.38	0.37	0.75
14	-0.34	-0.35	-0.72	-0.30	-0.14	-0.19	-0.30	-0.50	0.24	0.58

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.5

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1										
2	1	3	-26.5	13	1	-9.5	2	-8	8.5	8.5
3	-8	4	16	-34	4.5	1	5	4	2.5	-6
4	1.5	-6.5	1	16.5	-4	6.5	-5.5	-10	-0.5	-3
5	3	4	2.5	-1.5	3.5	2	2.5	-9	1.5	2
6	-0.5	-4.5	-1	7.5	-5	-2	0	9.5	-3.5	-5
7	-2.5	-5	-0.5	-14.5	-3.5	-5	0	1	-0.5	3
8	11.5	7	10	24	12	16.5	11.5	17.5	12	12.5
9	-5.5	-1.5	-0.5	-4	-4.5	-0.5	-5	-1	-1	-13
10	-11	-5.5	-2.5	-3.5	-2.5	-5	-12	-5.5	-5	-4
11	1	5	-17.5	2.5	-2	-8.5	8.5	2	-3	2
12	-1	-9	5.5	0.5	-3	3	-3	-2	0	3
13	-3	0.5	-1.5	-3	-3	-2	-1.5	6.5	-1	-1
14	-6	-3.5	-6	-3	-4.5	-7.5	-6.5	-16	-6	-5.0

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.6

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1										
2	-4	4	-1	-2	8.5	-7	-33.5	2	6.5	0.5
3	-9	-14	-7	-28	7.5	-17	-17.5	-4.5	-3	2
4	5.5	8.5	-7.5	11.5	-4.5	8	17	1.5	2	1
5	-3.5	3	3.5	3.5	-2.5	-1.5	6	7.5	5	5
6	3.5	-1.5	6	-5	5	2.5	-4.5	-6	-20	-3
7	-7	-2.5	-12.5	1	1	2.5	-3.5	1.5	3.5	-0.5
8	14	7	10.5	15.5	12.5	22	16	13	15.5	2.5
9	-7	1.5	1	-4	-5.5	-0.5	-0.5	-2.5	-1.5	0
10	1.5	-4	-10	-13.5	-3	-3	-8.5	-2.5	-5.5	-5
11	-5.5	2	6	9	1.5	1.5	5.5	4	3.5	-4.5
12	-0.5	-6.5	-0.5	-11	-5.5	-8.5	-6.5	-1	-10	1.5
13	-2	-1	-4.5	2	-3	0.5	-1	-3.5	-2.5	-2.5
14	-5.5	-5	-5.5	-4	-4.5	-11	-6	-5.5	-5.5	-7

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.7

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1										
2	3	2.5	0.5	2.5	3	4	1	1	7.5	1
3	1	-6	-16	-7	-35	-10.5	1.5	-1	1	12
4	0	4.5	3.5	1	14.5	4.5	-1.5	1	1.5	0
5	0.5	5.5	0	1	-1	8.5	1	2	4.5	-3
6	-2	-17.5	-9	-6.5	21	-4.5	-0.5	-13	-2	23.5
7	-0.5	4	0.5	-0.5	-1.5	-9.5	-8	-8.5	-7.5	-1.5
8	-4.5	16.5	12	11.5	13.5	12.5	12.5	21.5	13.5	13.5
9	4	-2	-1.5	-4.5	-9.5	-3	-0.5	-11	0.5	-1.5
10	-7	-9.5	-4.5	-1.5	-2.5	-1	-8.5	-2.5	-3	-5
11	2	3.5	-5	0.5	4	0	2.5	2.5	3.5	3
12	-4	-7	2	0	-1.5	0	-4	-1	-1.5	-10
13	-0.5	-3.5	-2.5	-3.5	-6.5	-4	-1	-6	-3.5	-1.5
14	-5.5	-5	-9.5	-5	-4	-4.5	-6.5	-5	-5	-7

PERDIDA DE MATERIAL AUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.8

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1										
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	-0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	-0.17	0.00	-0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	-0.06	0.00	-0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	-0.18	0.00	-0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.22
7	0.00	-0.31	0.00	-0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18
8	0.00	-0.13	0.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13
9	-0.14	-0.17	-0.01	-0.15	-0.11	-0.01	-0.13	-0.02	-0.02	-0.05
10	-0.42	-0.31	-0.07	-0.24	-0.17	-0.14	-0.43	-0.16	-0.15	-0.23
11	-0.40	-0.18	-0.51	-0.18	-0.22	-0.35	-0.22	-0.11	-0.22	-0.06
12	-0.42	-0.41	-0.37	-0.16	-0.30	-0.27	-0.29	-0.16	-0.22	-0.09
13	-0.50	-0.40	-0.41	-0.24	-0.37	-0.32	-0.33	0.00	-0.25	-0.18
14	-0.65	-0.49	-0.56	-0.31	-0.48	-0.51	-0.50	-0.40	-0.39	-0.31

PERDIDA DE MATERIAL AUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.9

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1										
2	-0.10	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00
3	-0.32	0.00	-0.20	-0.74	0.00	0.00	-1.26	0.00	0.00	0.00
4	-0.19	0.00	-0.39	-0.46	0.00	0.00	-0.84	0.00	0.00	0.00
5	-0.27	0.00	-0.31	-0.37	0.00	0.00	-0.69	0.00	0.00	0.00
6	-0.19	0.00	-0.15	-0.50	0.00	0.00	-0.80	0.00	-0.50	-0.07
7	-0.36	0.00	-0.47	-0.47	0.00	0.00	-0.89	0.00	-0.41	-0.09
8	-0.01	0.00	-0.20	-0.09	0.00	0.00	-0.49	0.00	-0.02	-0.02
9	-0.19	0.00	-0.18	-0.19	-0.14	-0.01	-0.50	-0.06	-0.06	-0.02
10	-0.15	-0.10	-0.43	-0.52	-0.21	-0.08	-0.71	-0.13	-0.20	-0.15
11	-0.29	-0.05	-0.28	-0.30	-0.17	-0.05	-0.58	-0.03	-0.11	-0.26
12	-0.30	-0.22	-0.29	-0.57	-0.31	-0.25	-0.74	-0.05	-0.36	-0.22
13	-0.35	-0.24	-0.41	-0.52	-0.38	-0.24	-0.76	-0.14	-0.42	-0.28
14	-0.48	-0.37	-0.55	-0.62	-0.49	-0.51	-0.91	-0.28	-0.56	-0.46

PERDIDA DE MATERIAL AUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.10

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1										
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	-0.39	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	-0.30	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	-0.30	-0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	-0.05	0.00	-0.52	-0.29	0.00	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
7	-0.06	0.00	-0.51	-0.30	0.00	-0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
8	-0.18	0.00	-0.22	-0.01	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
9	-0.08	-0.05	-0.26	-0.13	-0.24	-0.11	-0.01	-0.28	0.00	-0.04
10	-0.25	-0.28	-0.36	-0.16	-0.30	-0.14	-0.22	-0.34	0.00	-0.16
11	-0.20	-0.20	-0.49	-0.15	-0.20	-0.14	-0.16	-0.28	0.00	-0.09
12	-0.30	-0.37	-0.44	-0.15	-0.24	-0.14	-0.26	-0.30	-0.04	-0.33
13	-0.31	-0.46	-0.50	-0.24	-0.40	-0.24	-0.29	-0.45	-0.13	-0.37
14	-0.45	-0.58	-0.73	-0.36	-0.50	-0.35	-0.45	-0.58	-0.26	-0.54

MAXIMO Y MINIMOS

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro 7.1.11

MUESTRA	MAXIMO (gr)	CICLO	MINIMO (gr)	CICLO	MUESTRA	MAXIMO (gr)	CICLO	MINIMO (gr)	CICLO
M1	3904.5	8	3879.0	14	M16	4138.5	8	4105.0	3
M2	3914.0	3	3895.0	14	M17	4061.5	1	4010.5	3
M3	4025.0	8	3997.0	2	M18	3972.0	8	3954.5	3
M4	3985.5	2	3951.5	3	M19	4036.5	5	4014.0	14
M5	4064.5	8	4045.0	14	M20	4041.0	5	4022.5	14
M6	4057.0	8	4036.5	14	M21	3987.5	5	3969.5	14
M7	3935.0	8	3915.5	14	M22	4057.5	8	4034.0	14
M8	4030.0	8	4002.0	5	M23	4116.0	2	4086.0	14
M9	4066.5	8	4046.5	1	M24	3993.0	2	3978.5	14
M10	3914.0	5	3901.0	1	M25	3993.5	8	3947.0	3
M11	4029.0	1	4010.0	14	M26	4029.0	5	4015.0	14
M12	3947.5	9	3931.5	3	M27	4016.0	8	3998.0	14
M13	3924.5	1	3903.0	14	M28	3993.0	8	3970.0	14
M14	4038.0	1	4008.0	3	M29	3879.0	11	3859.5	1
M15	4043.5	8	4016.0	1	M30	4040.5	8	3995.0	1

7.2.4.2 Relación de Gráficos

Relación agua-cemento 0.60

Gráfico 7.1.1 al 7.1.10: Gráfico Variación de Peso Acumulado

Gráfico 7.1.11 al 7.1.20: Gráfico Variación de Peso Consecutivo

Gráfico 7.1.21 al 7.1.30: Gráfico Perdida de Material Acumulado

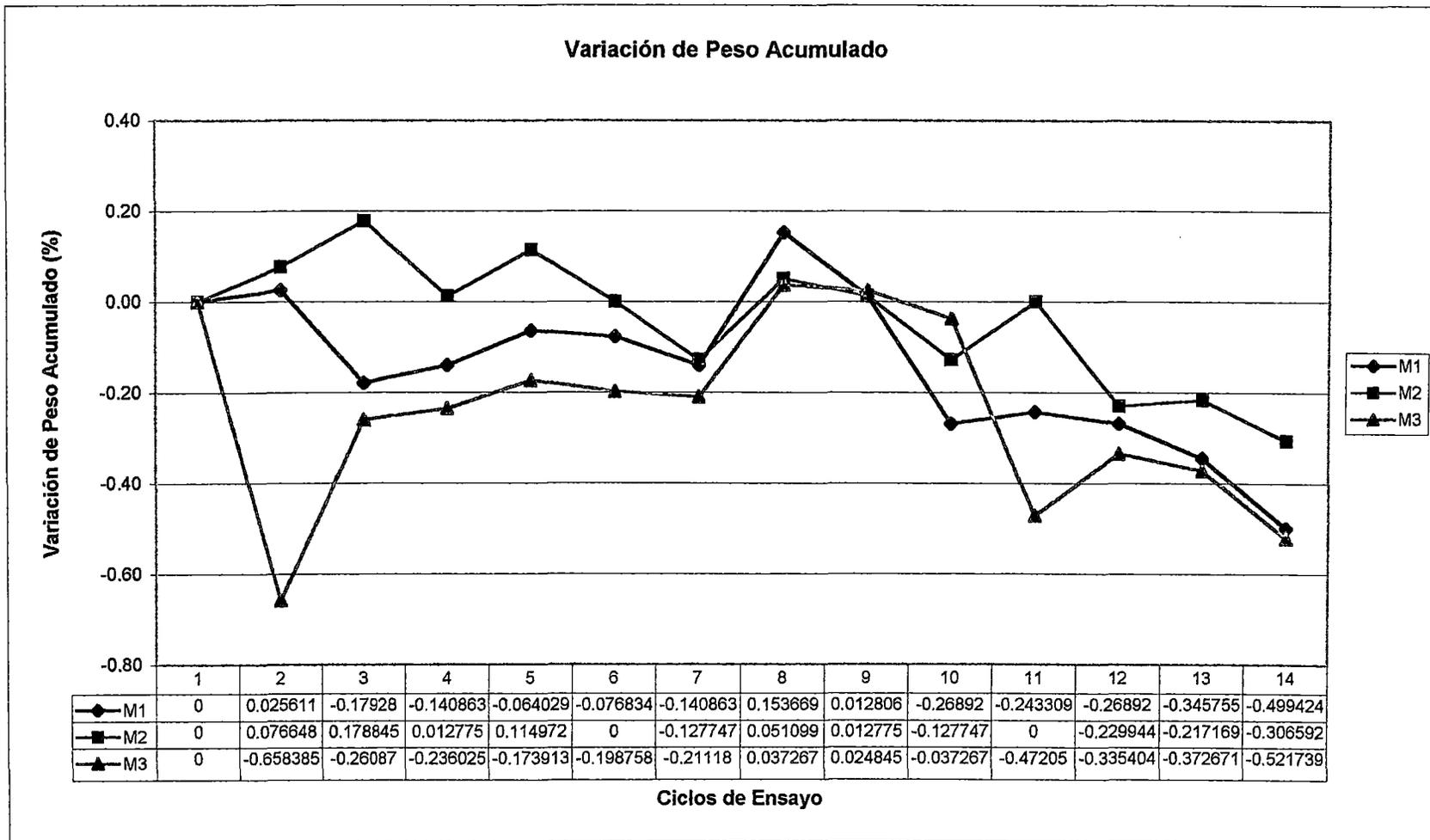
Gráfico 7.1.31: Gráficos Número de Frecuencias de Máximos y Mínimos.

VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

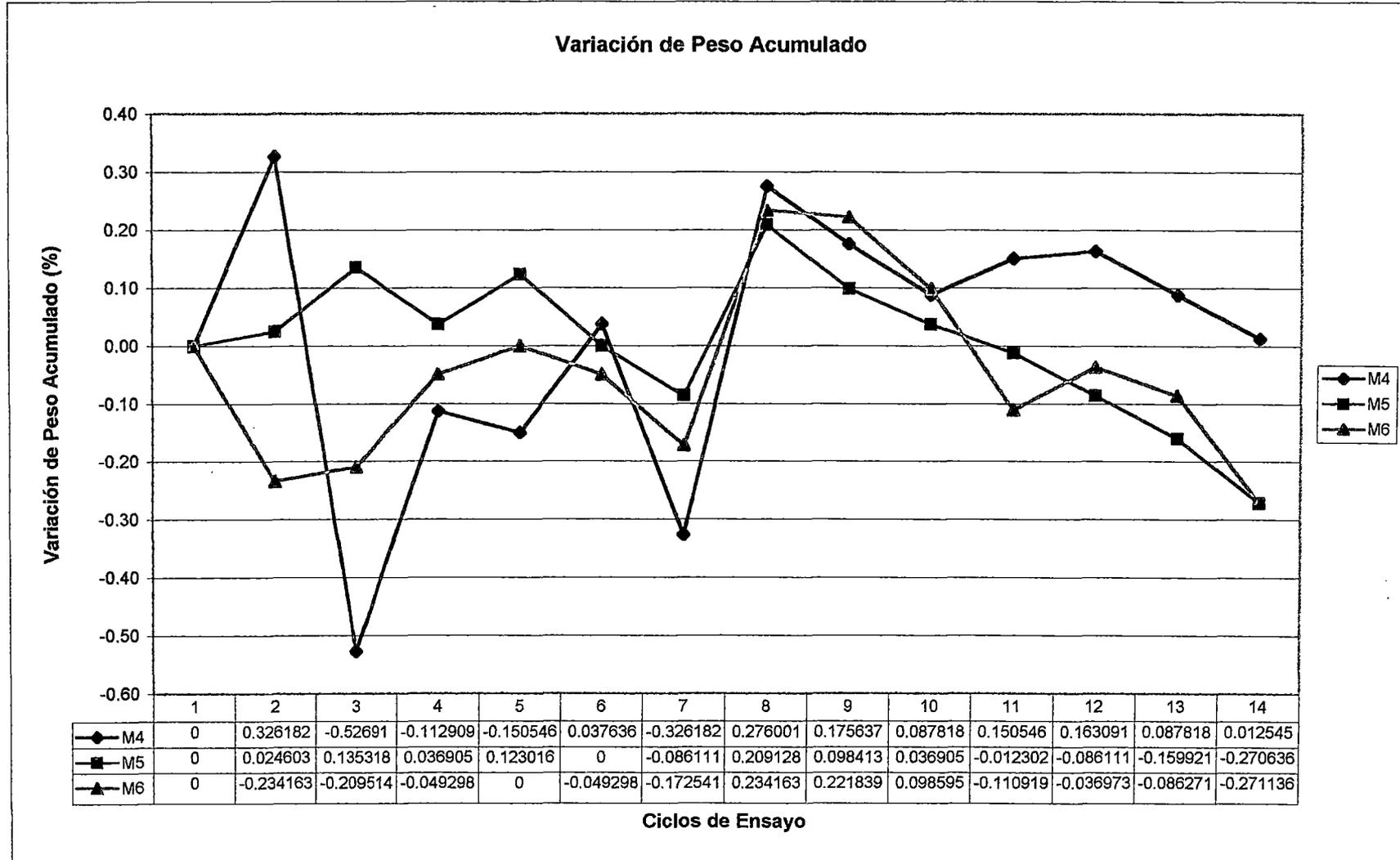
Gráfica 7.1.1



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

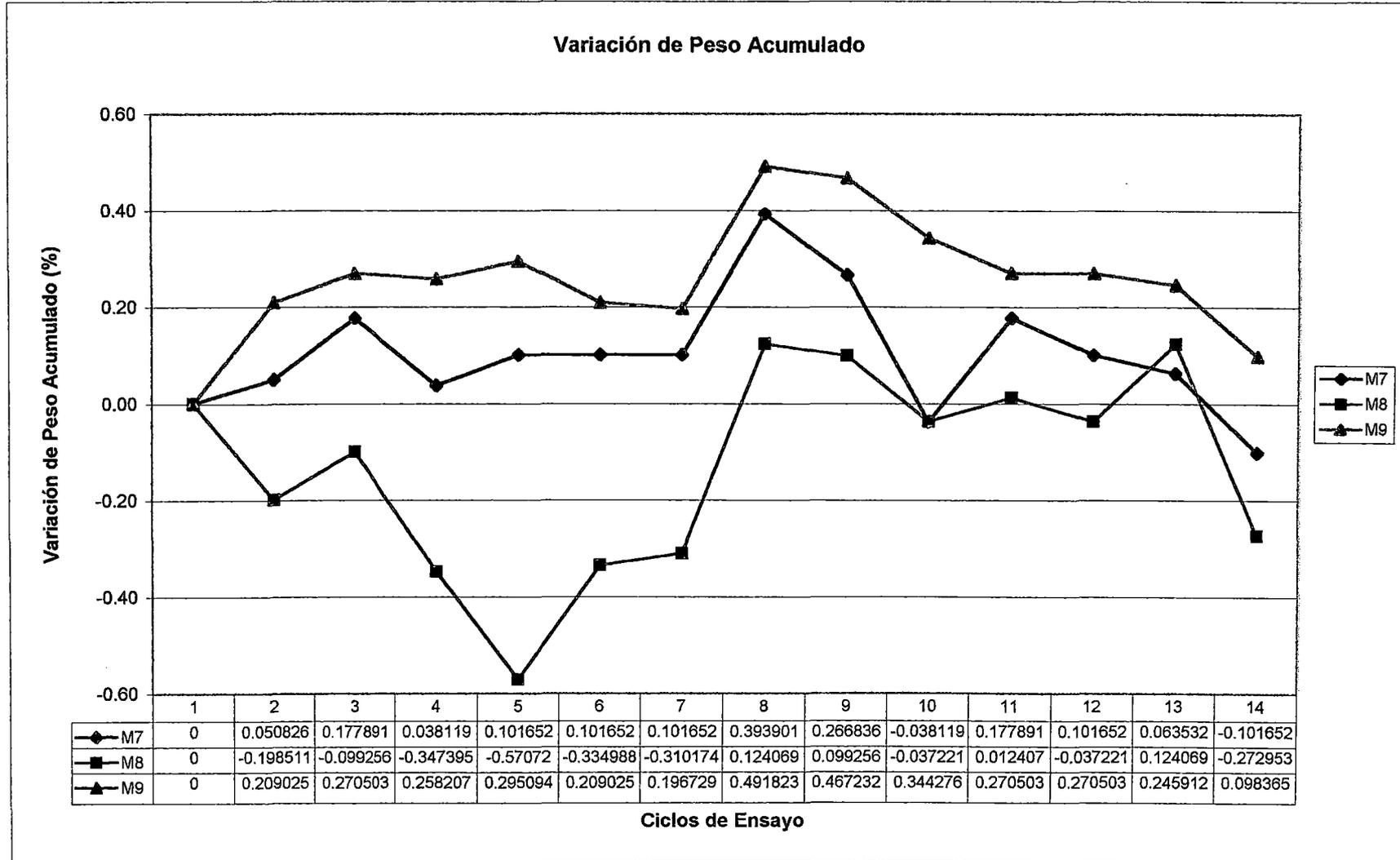
Gráfico 7.1.2



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

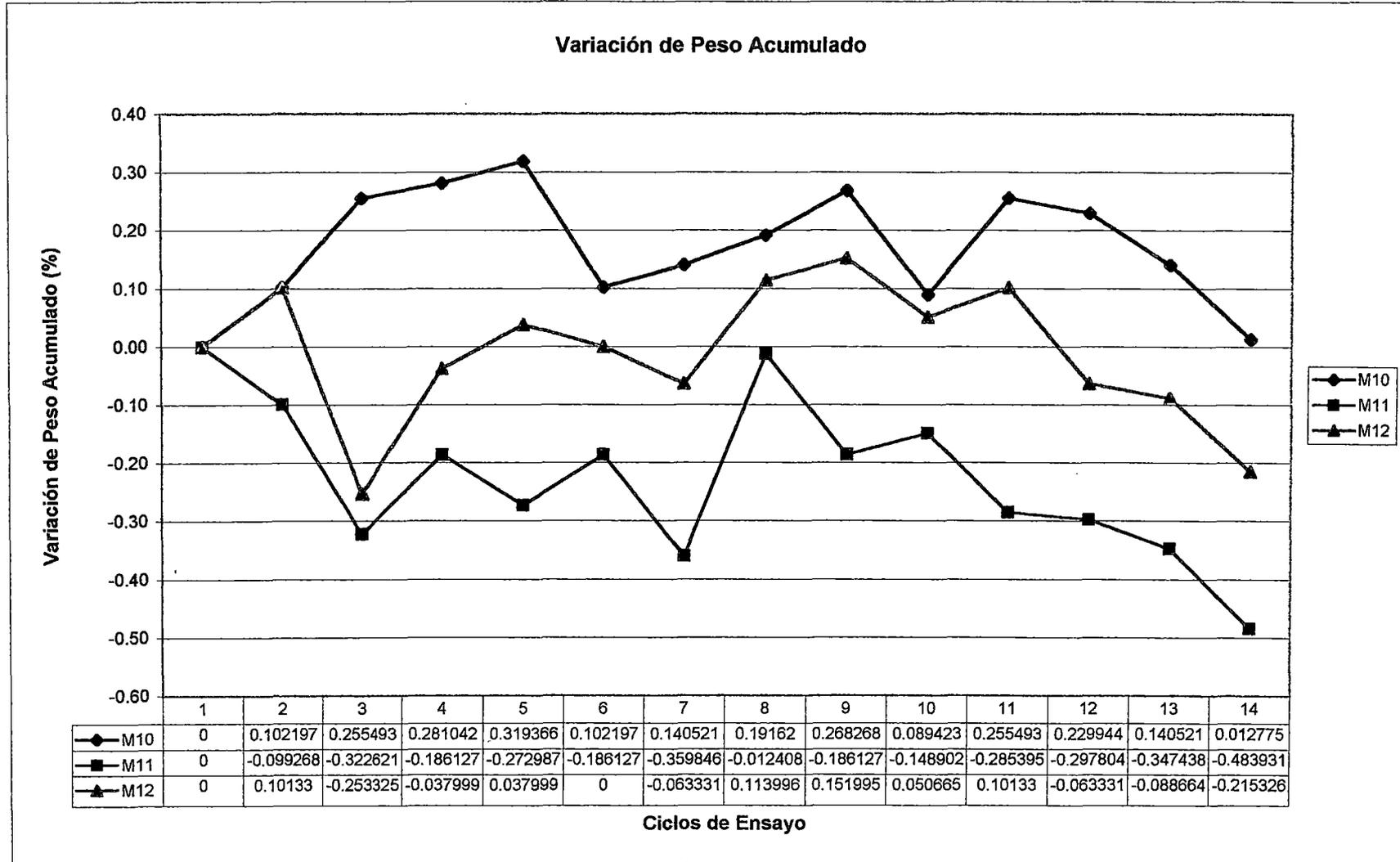
Gráfico 7.1.3



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

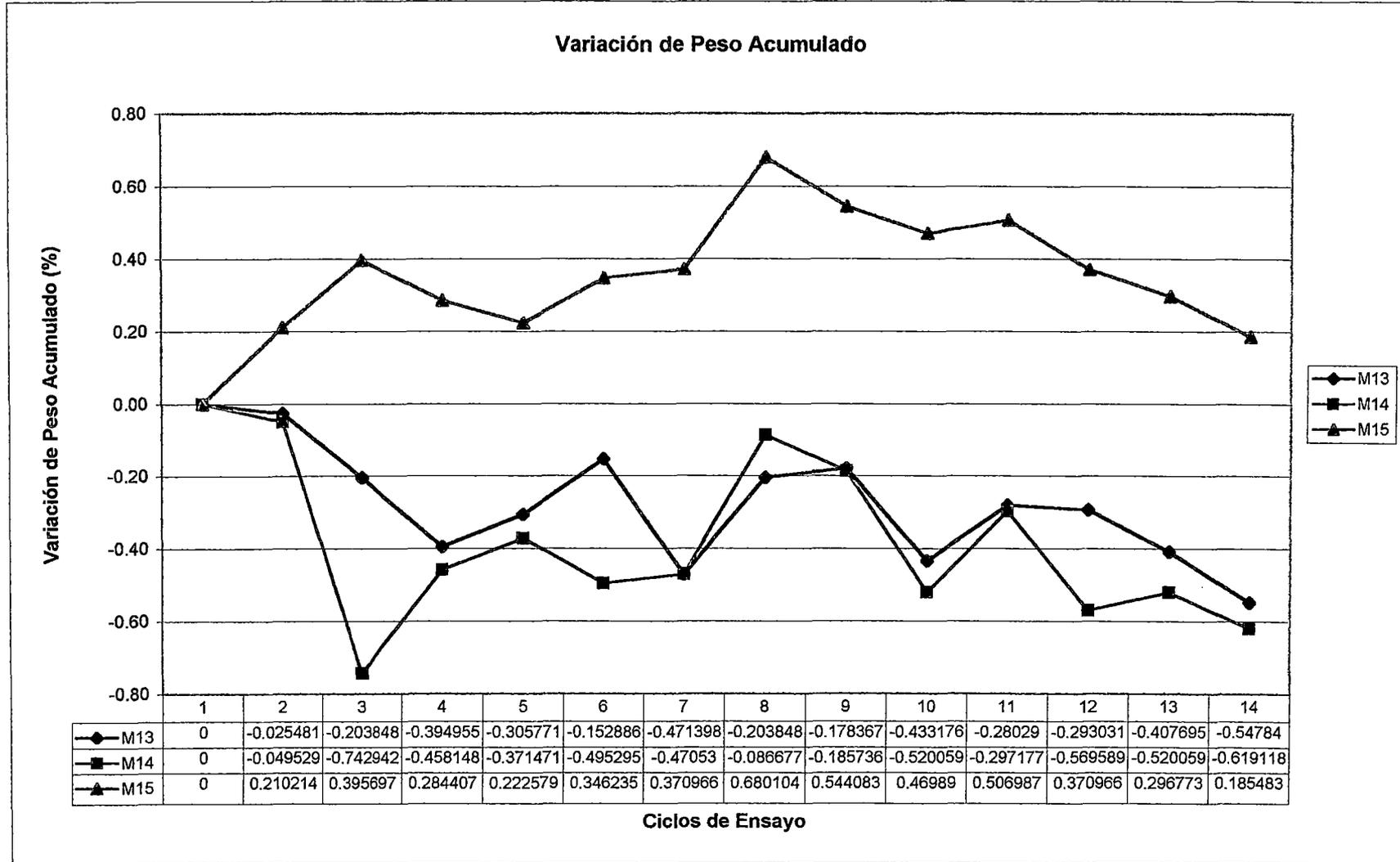
Gráfico 7.1.4



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

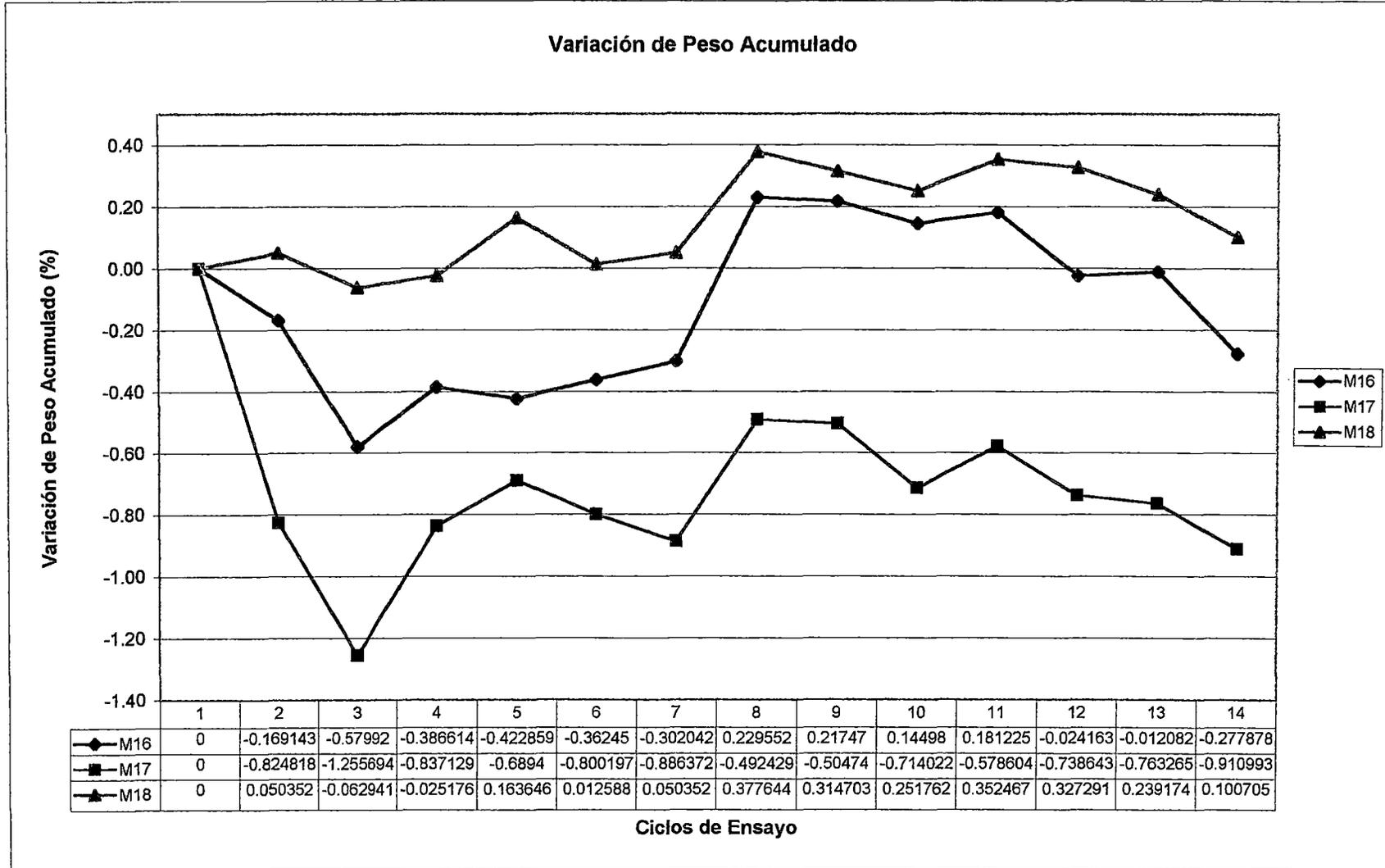
Gráfica 7.1.5



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

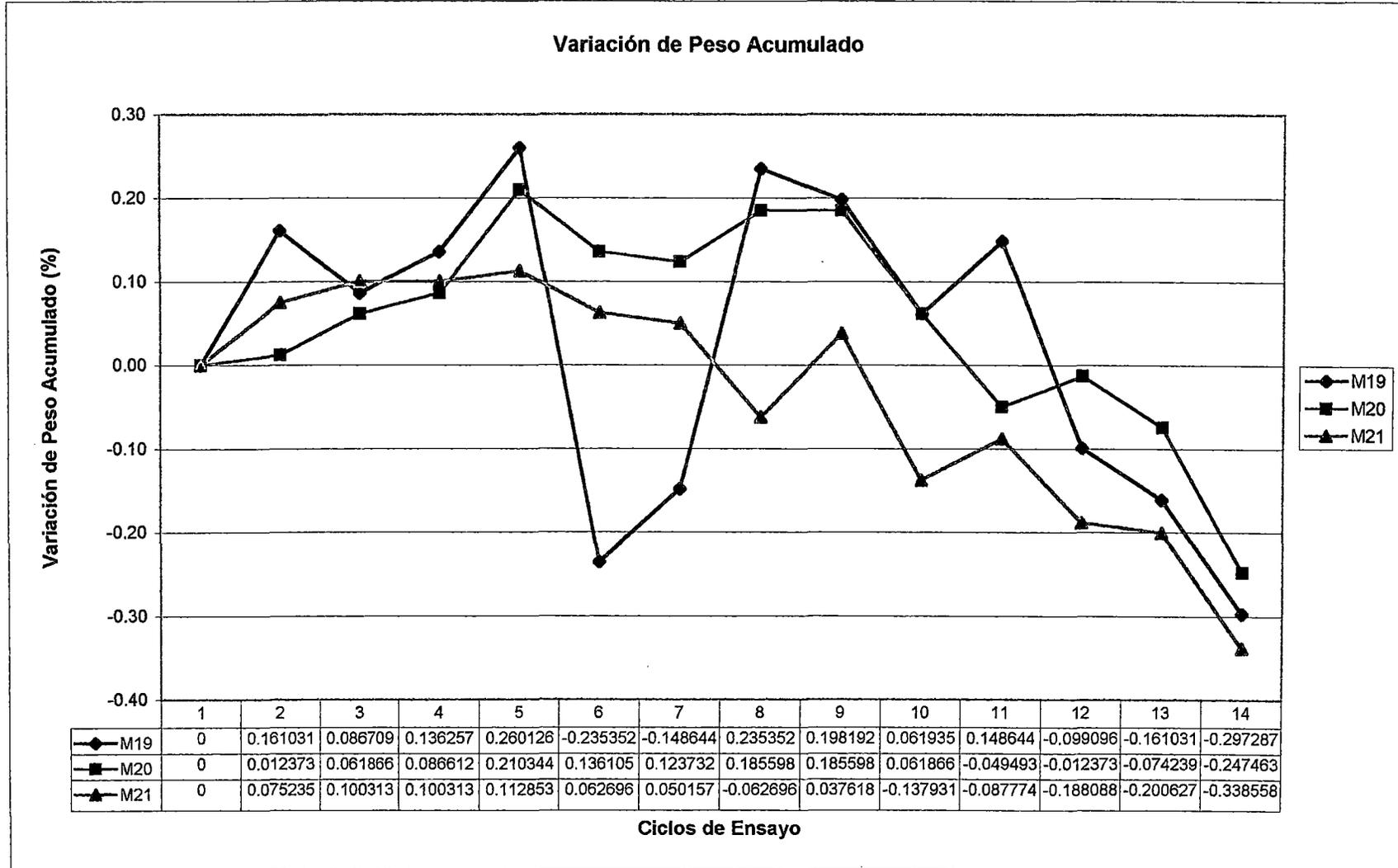
Gráfica 7.1.6



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

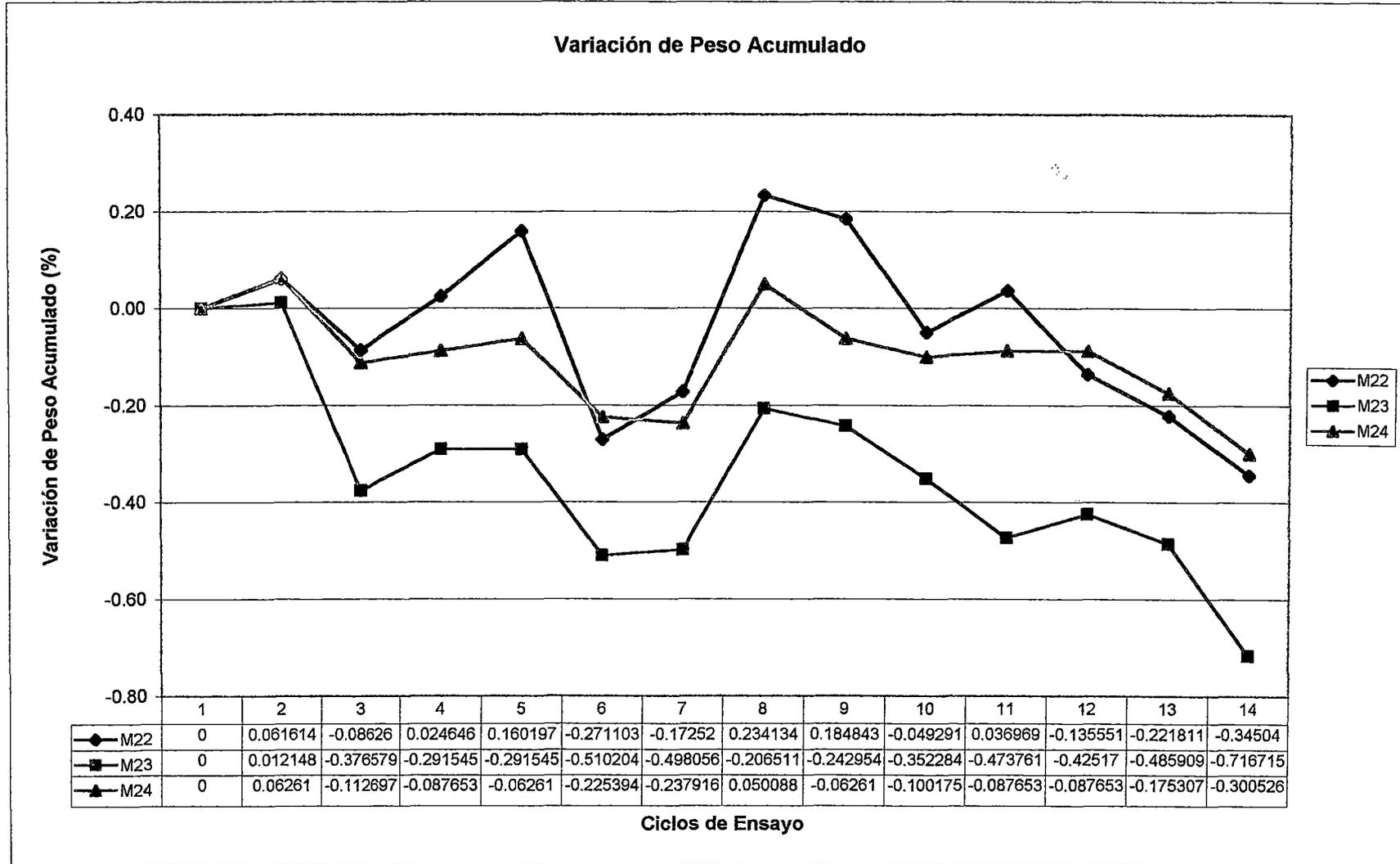
Gráfica 7.1.7



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

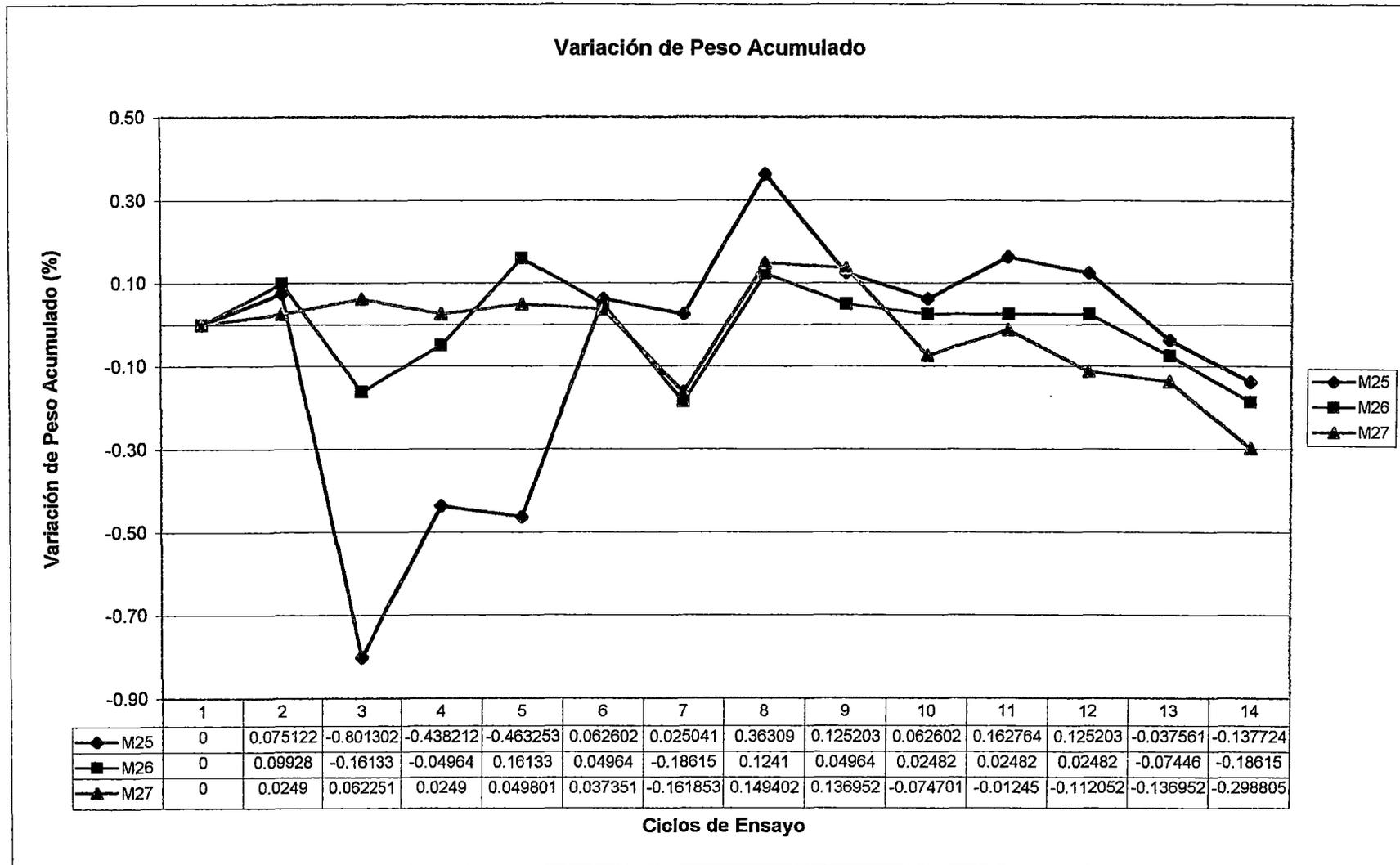
Gráfico 7.1.8



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

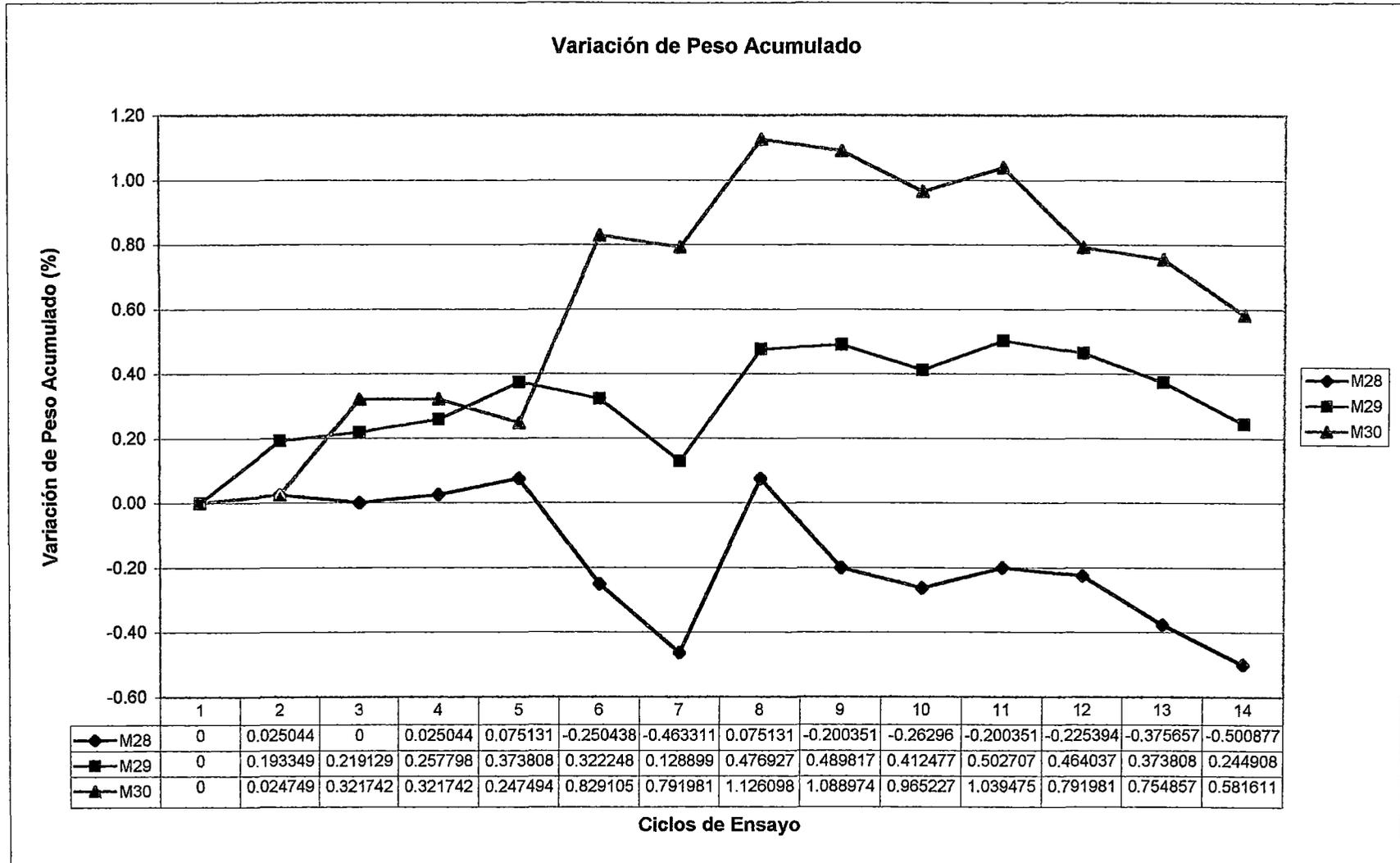
Gráfico 7.1.9



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.10

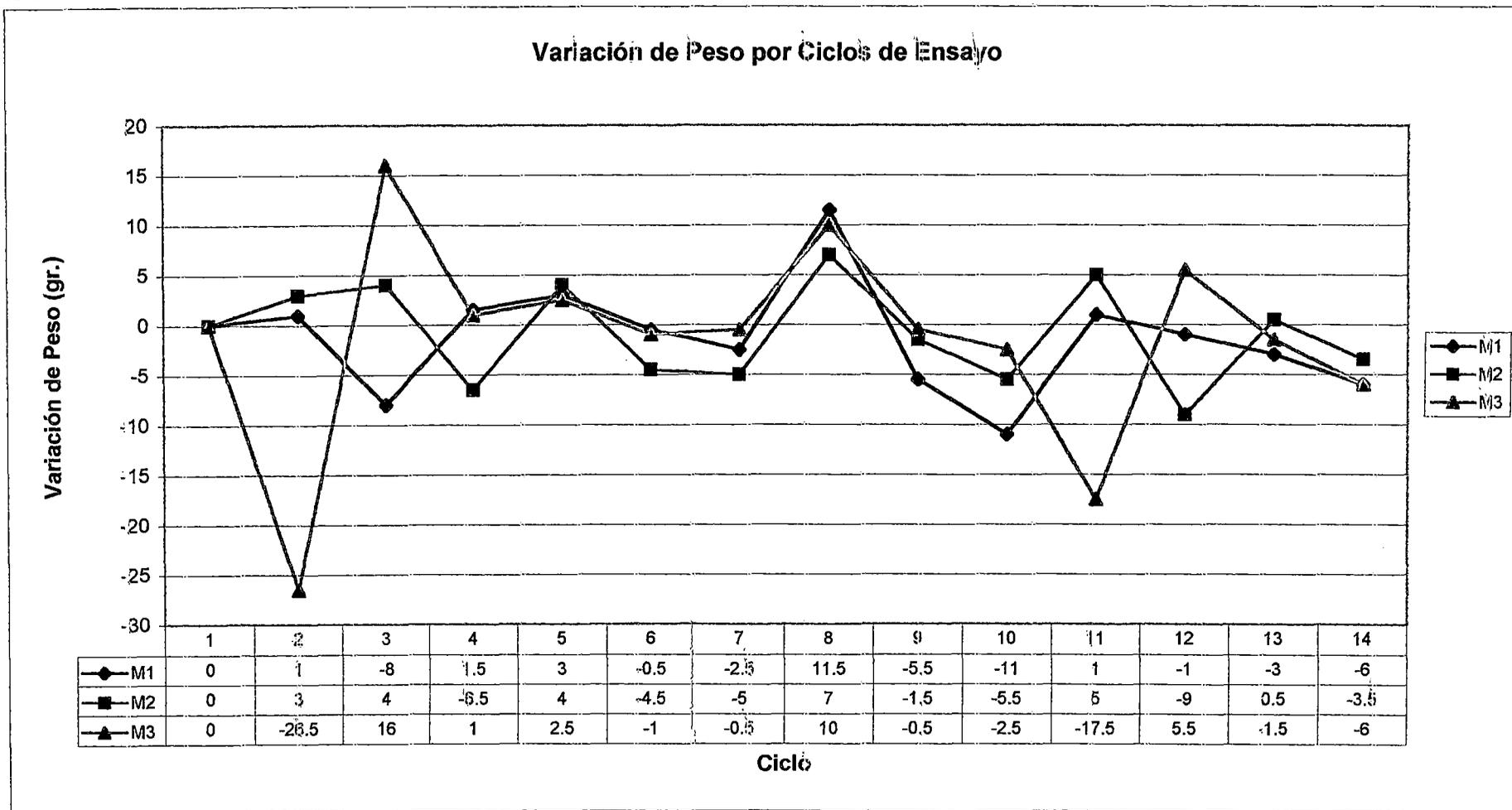


VARIACION DE PESO CONSECUTIVO POR CICLO DE ENSAYO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.11

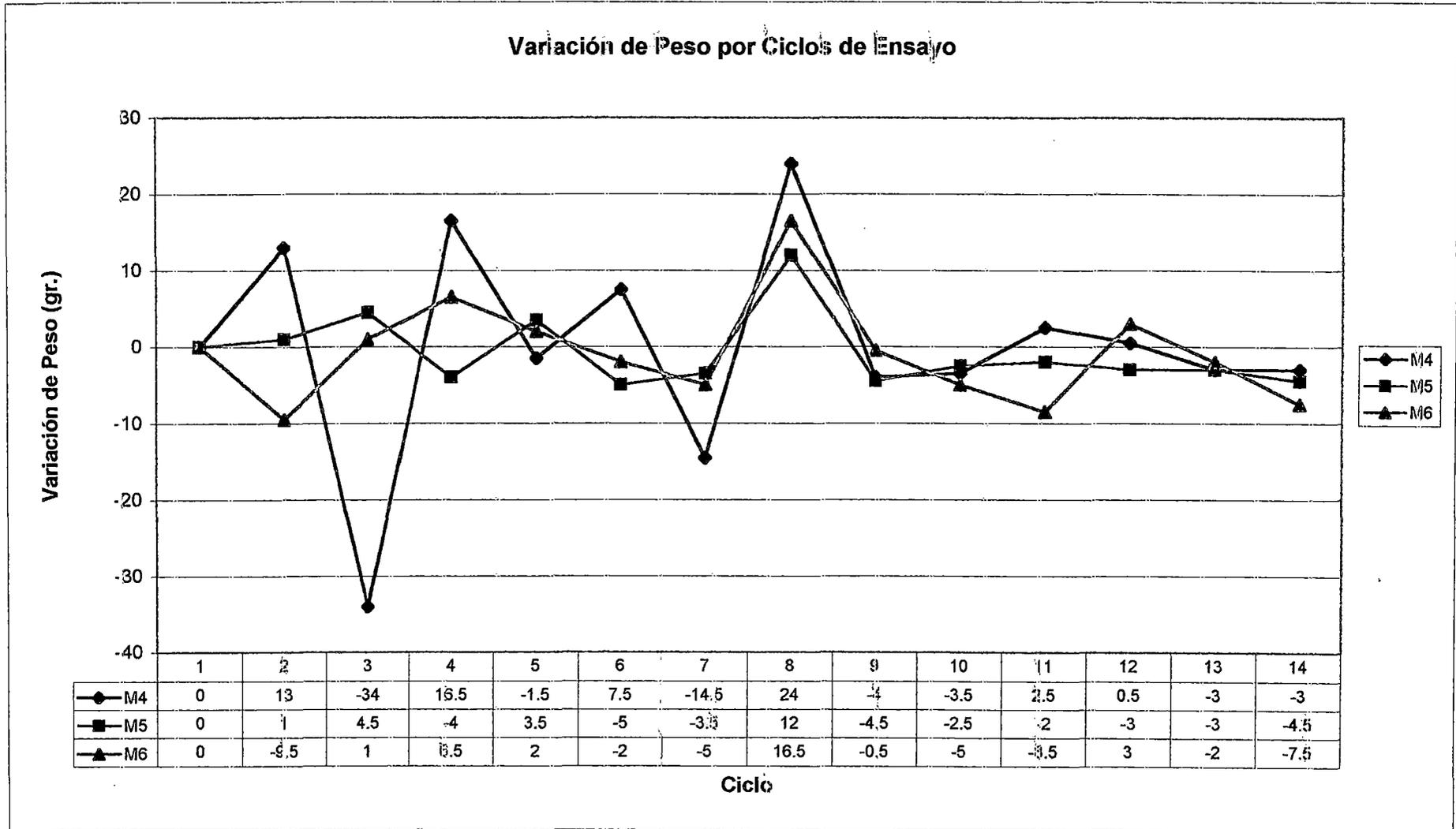


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.12

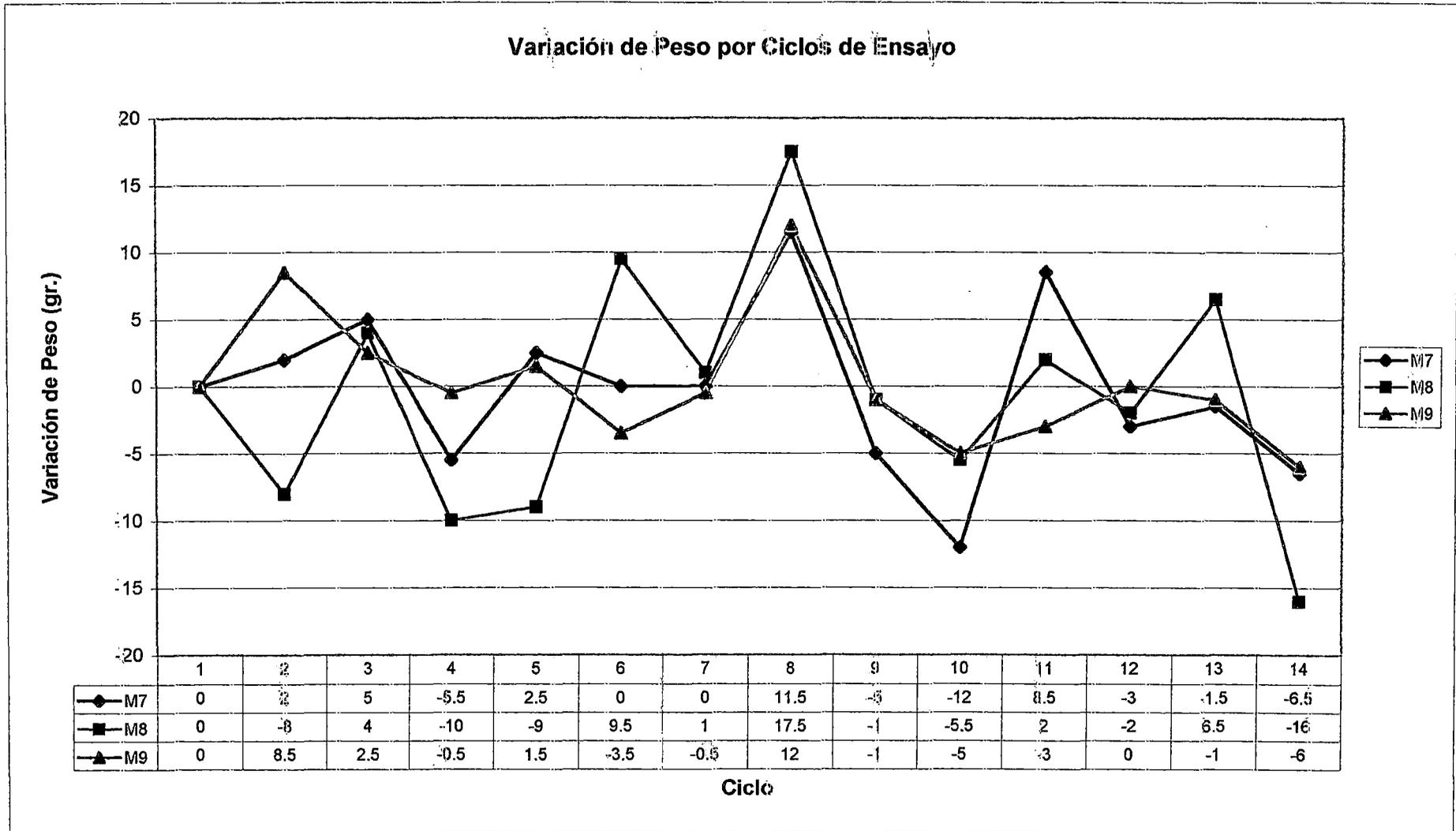


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
AGUA 0.60

Gráfico 7.1.13

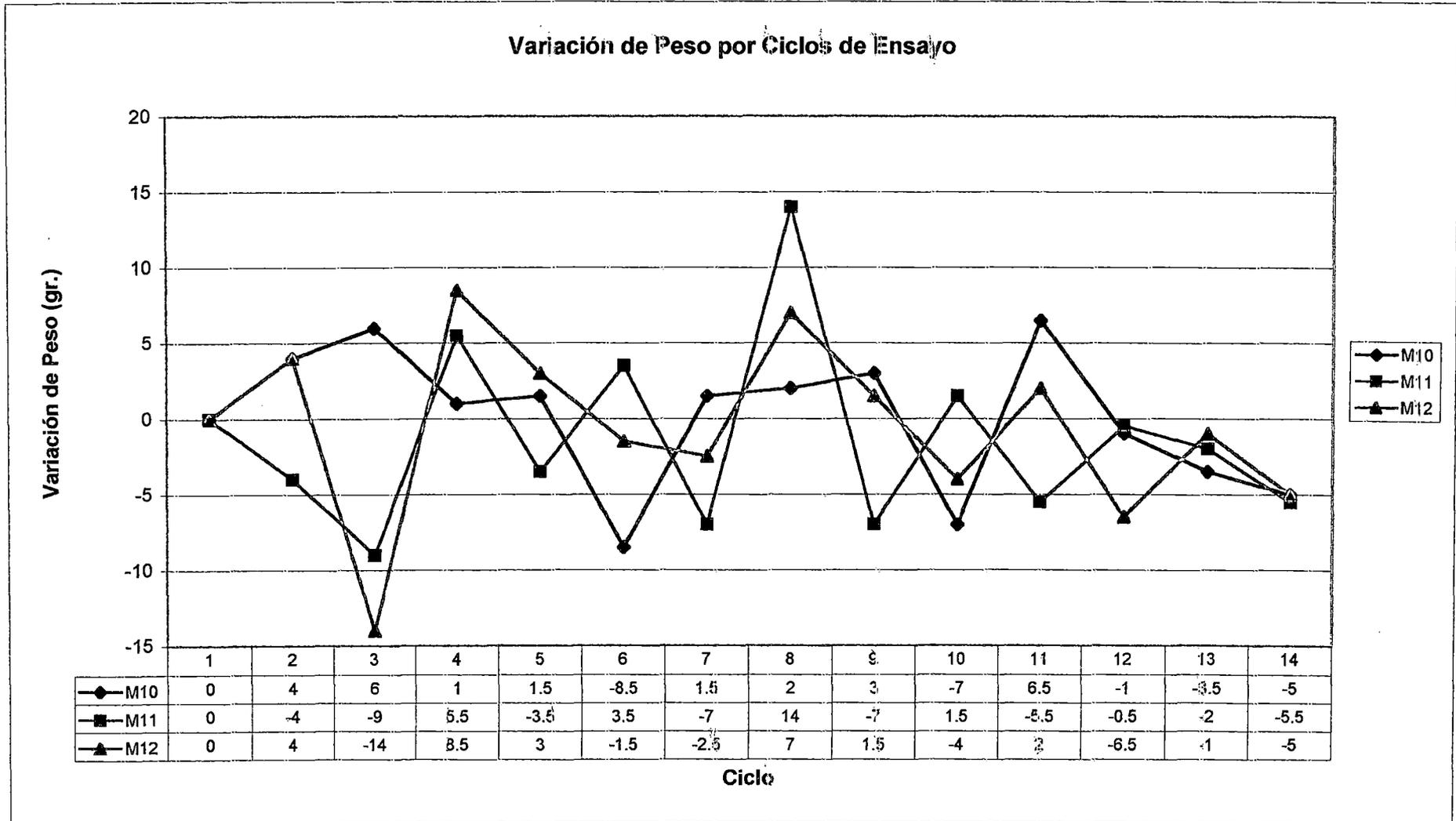


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 10 AL12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.14

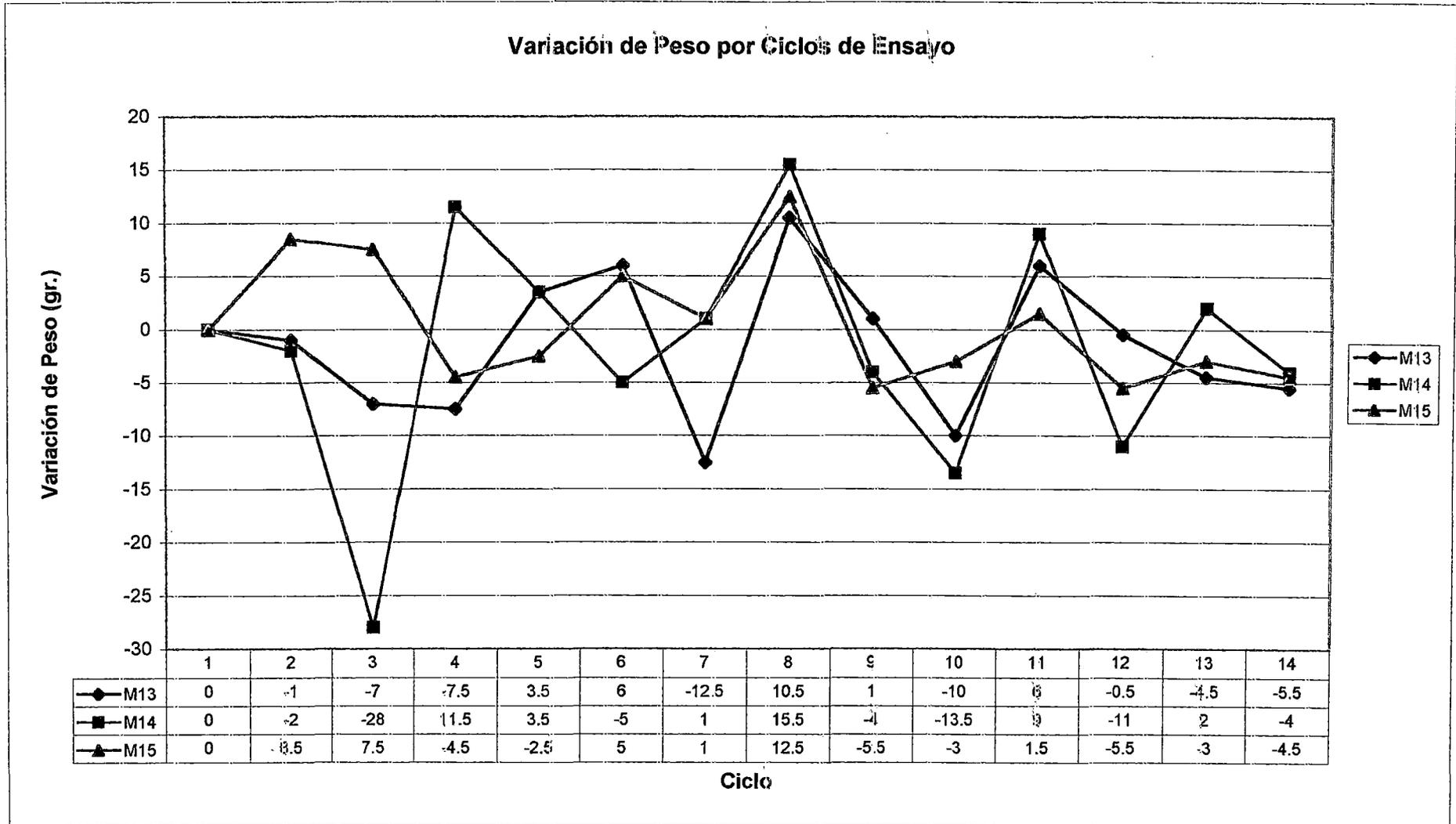


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.15

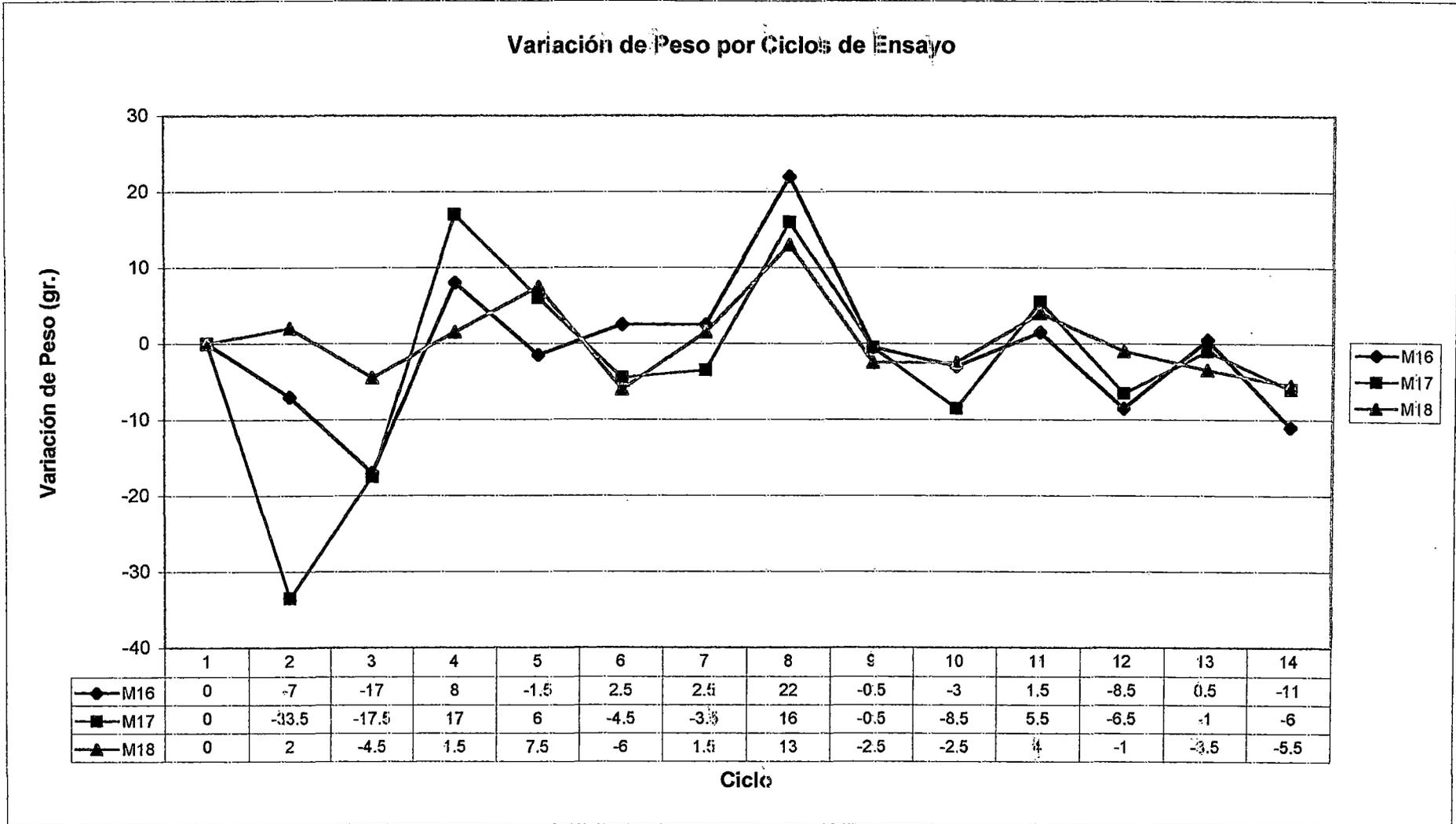


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.16

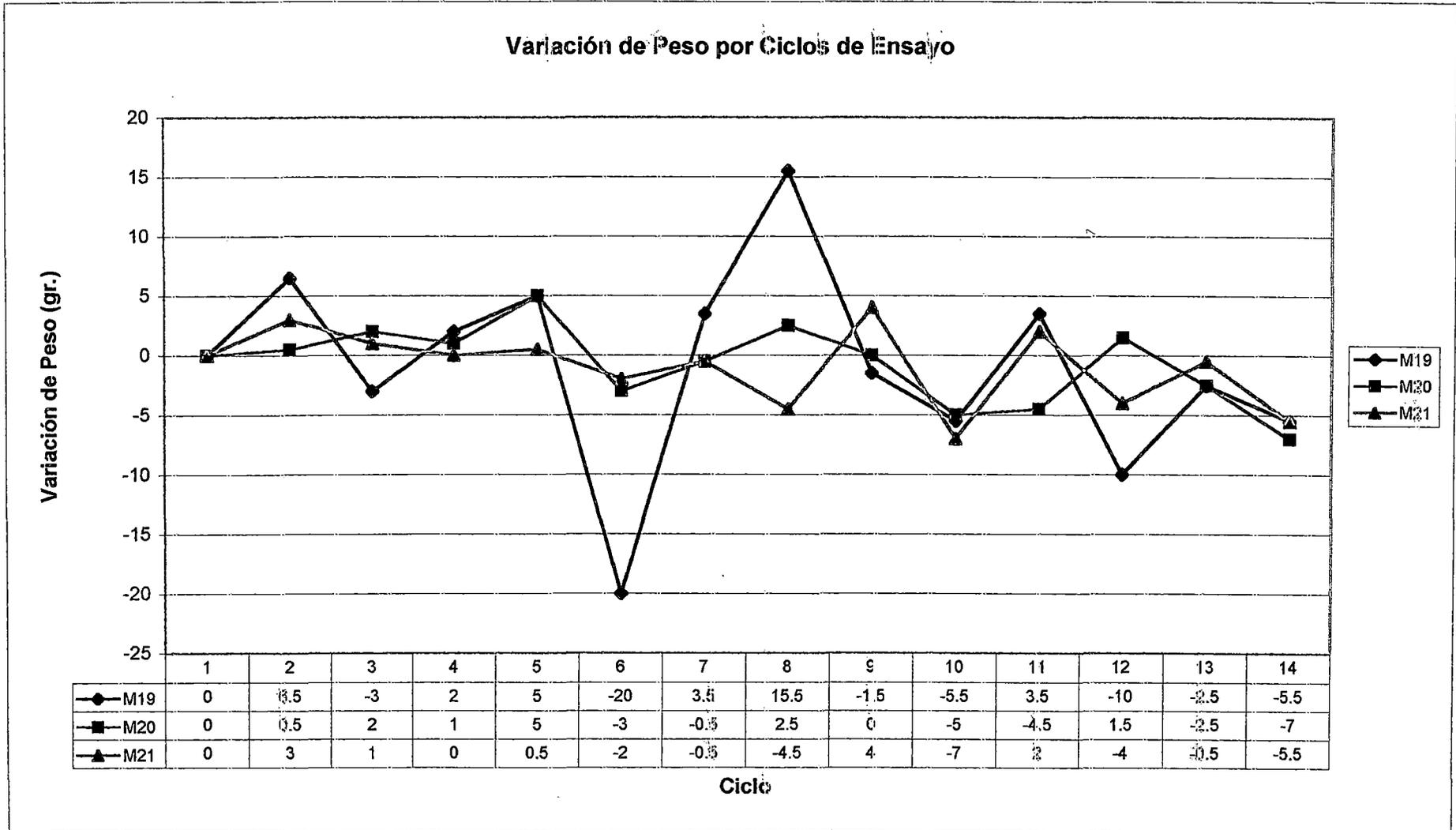


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.17

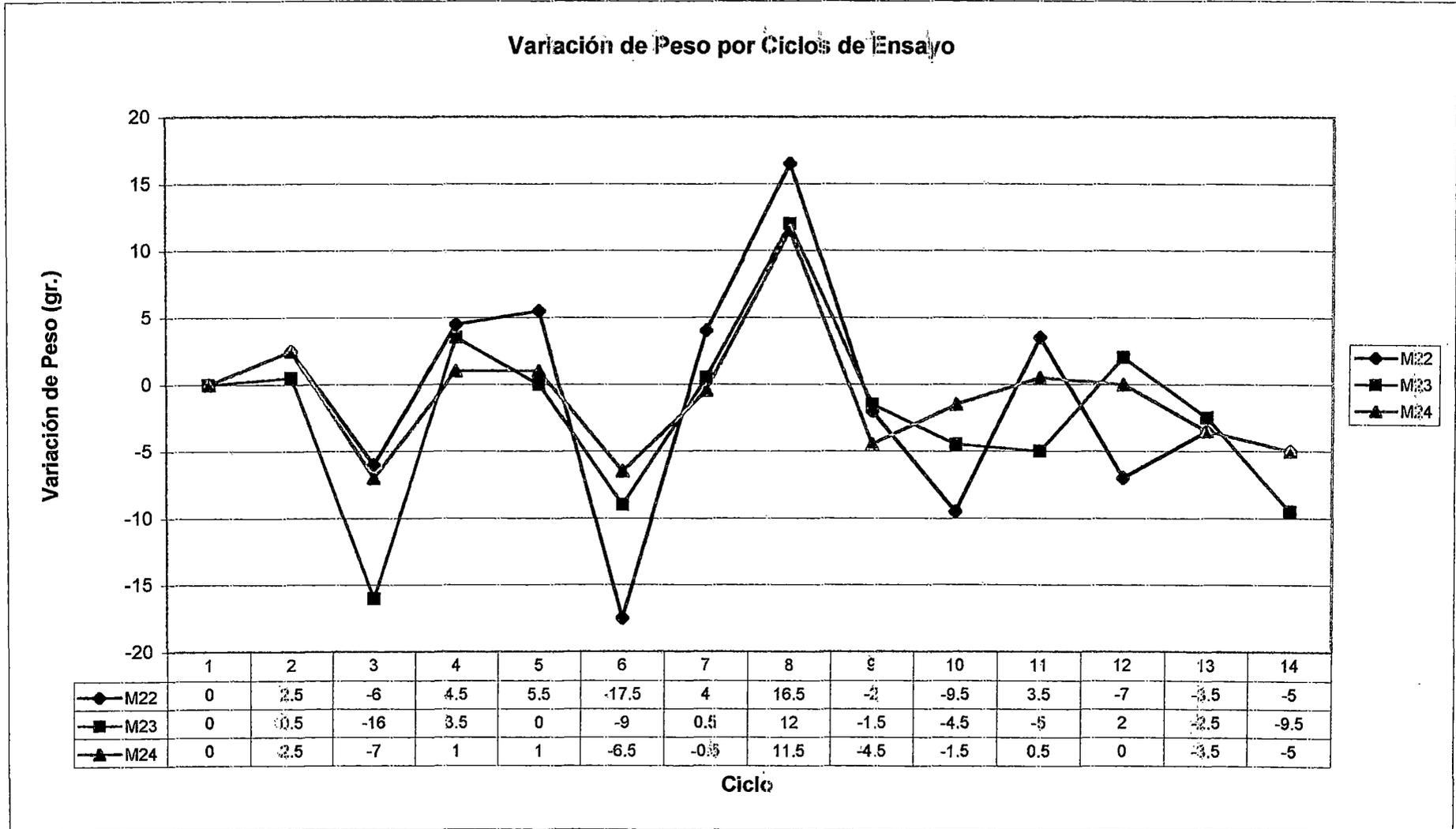


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.18

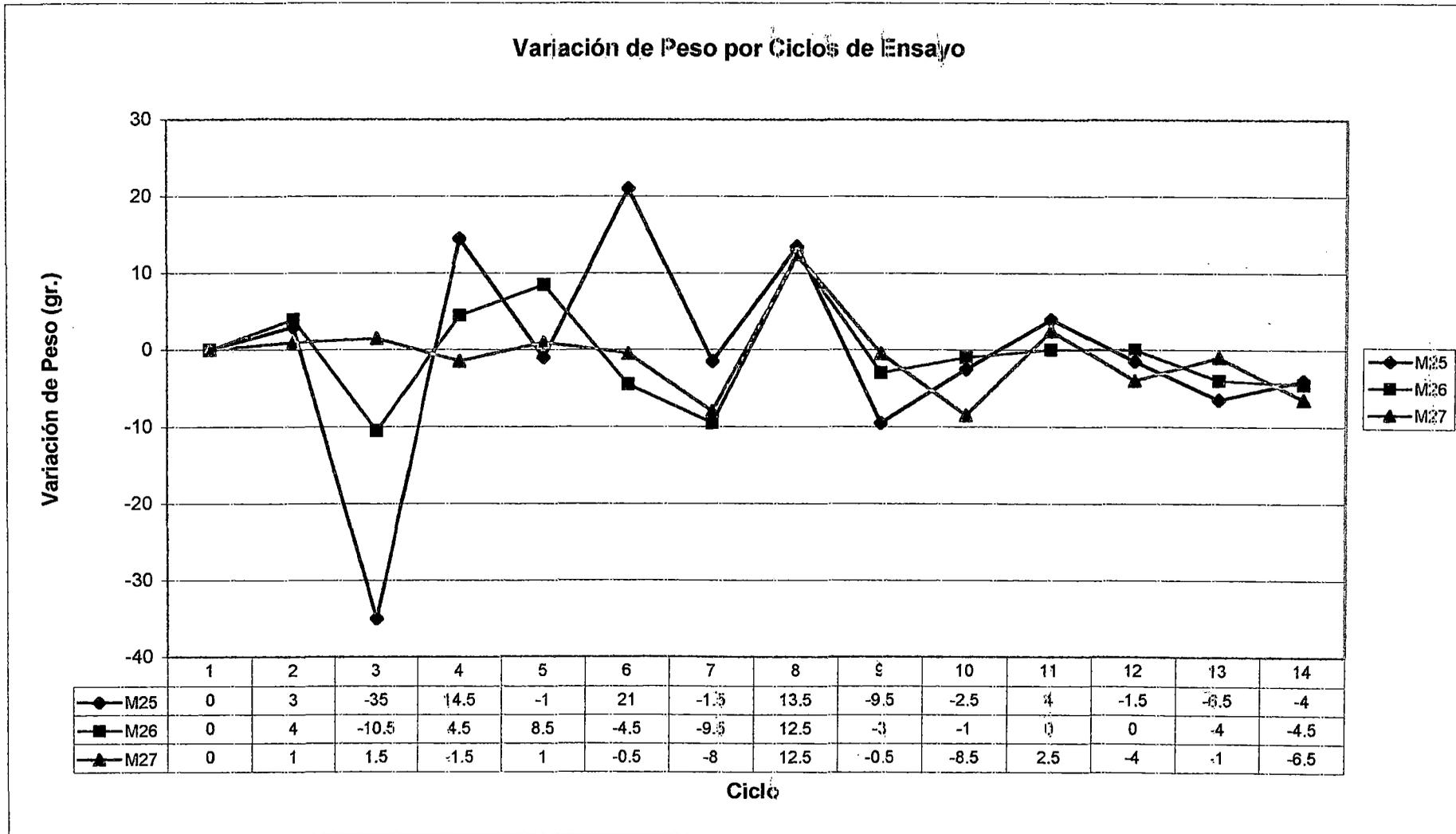


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.19

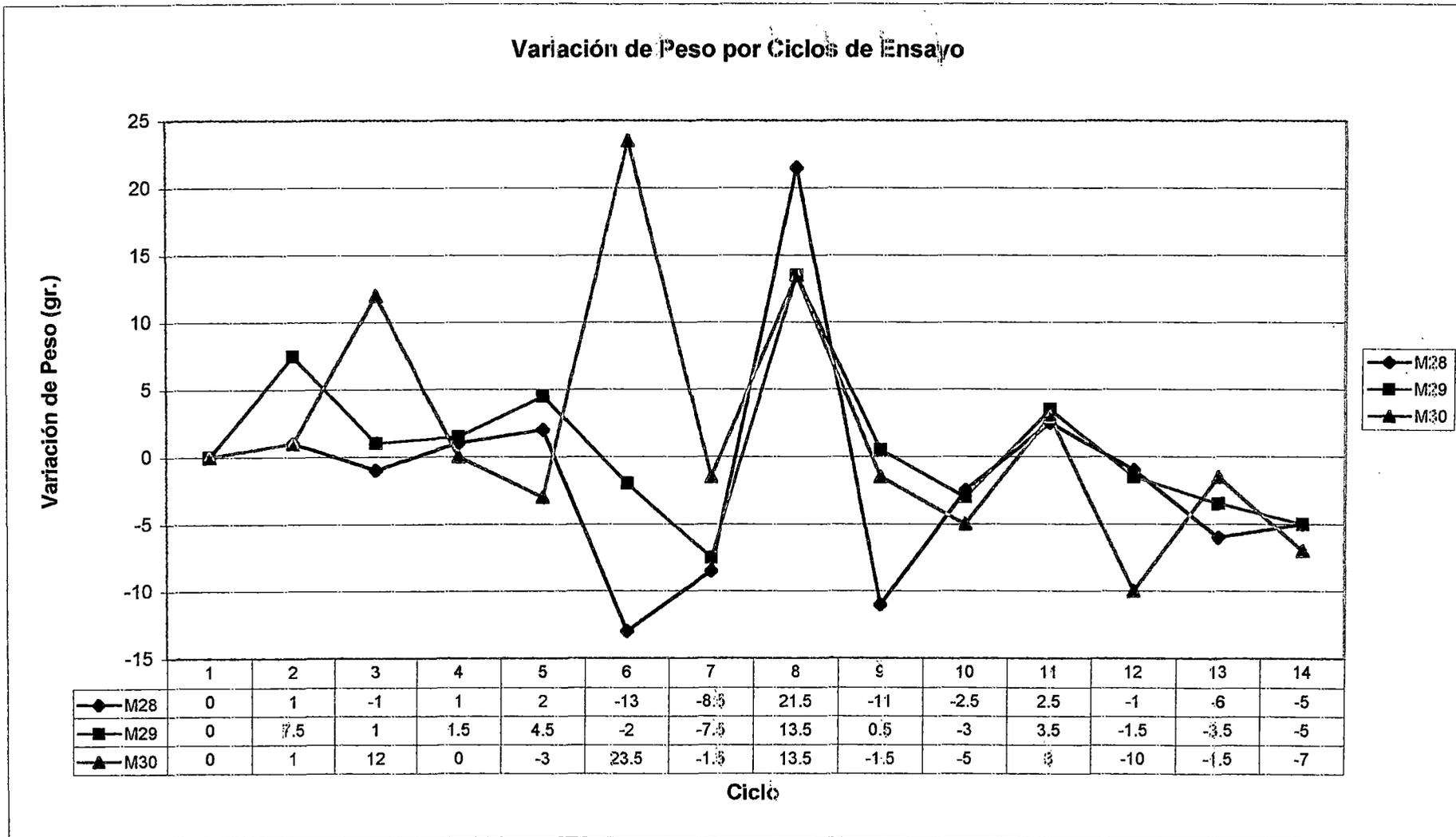


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.20

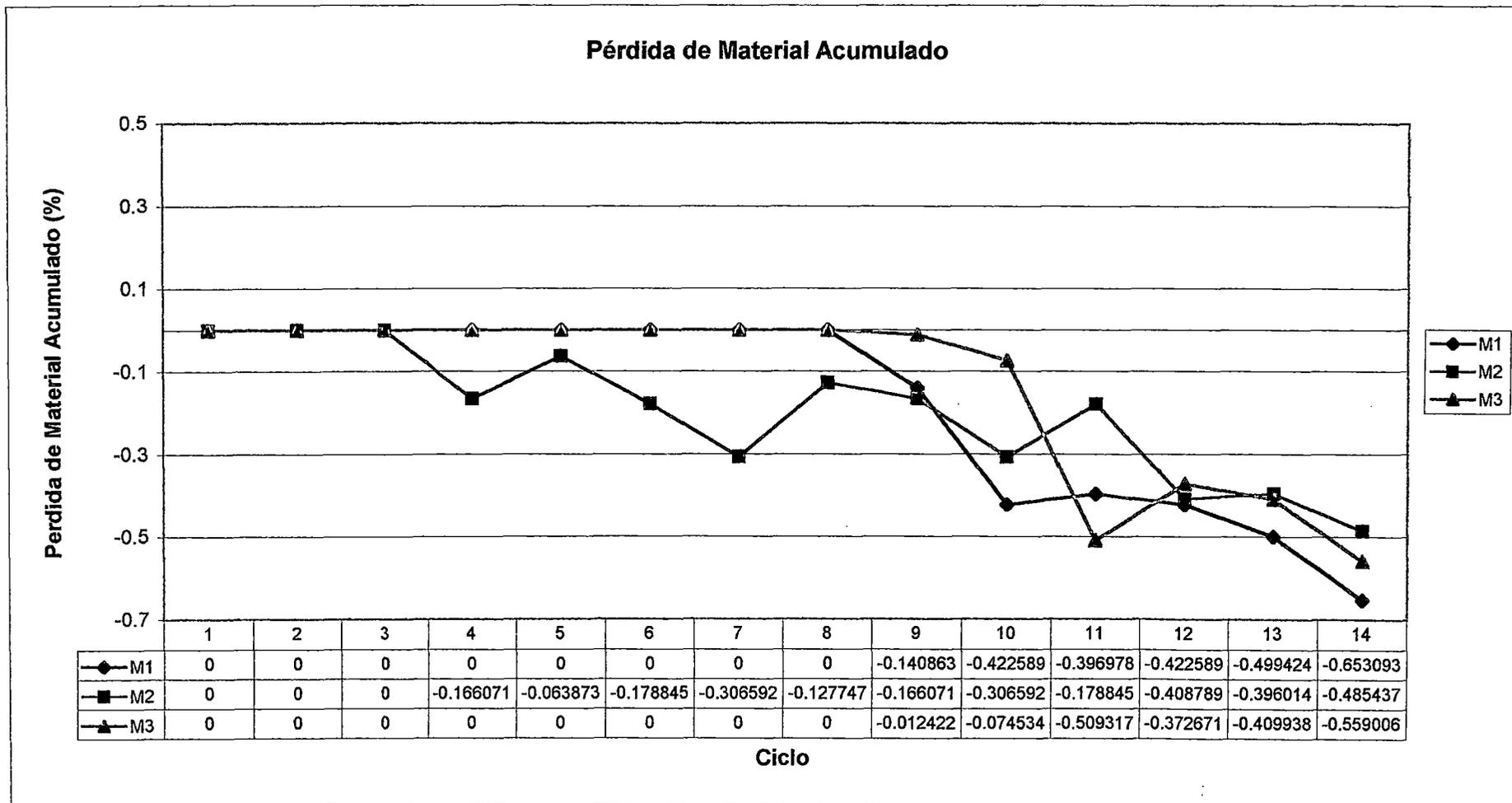


PERDIDA DE MATERIAL ACUMULADO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfica 7.1.21

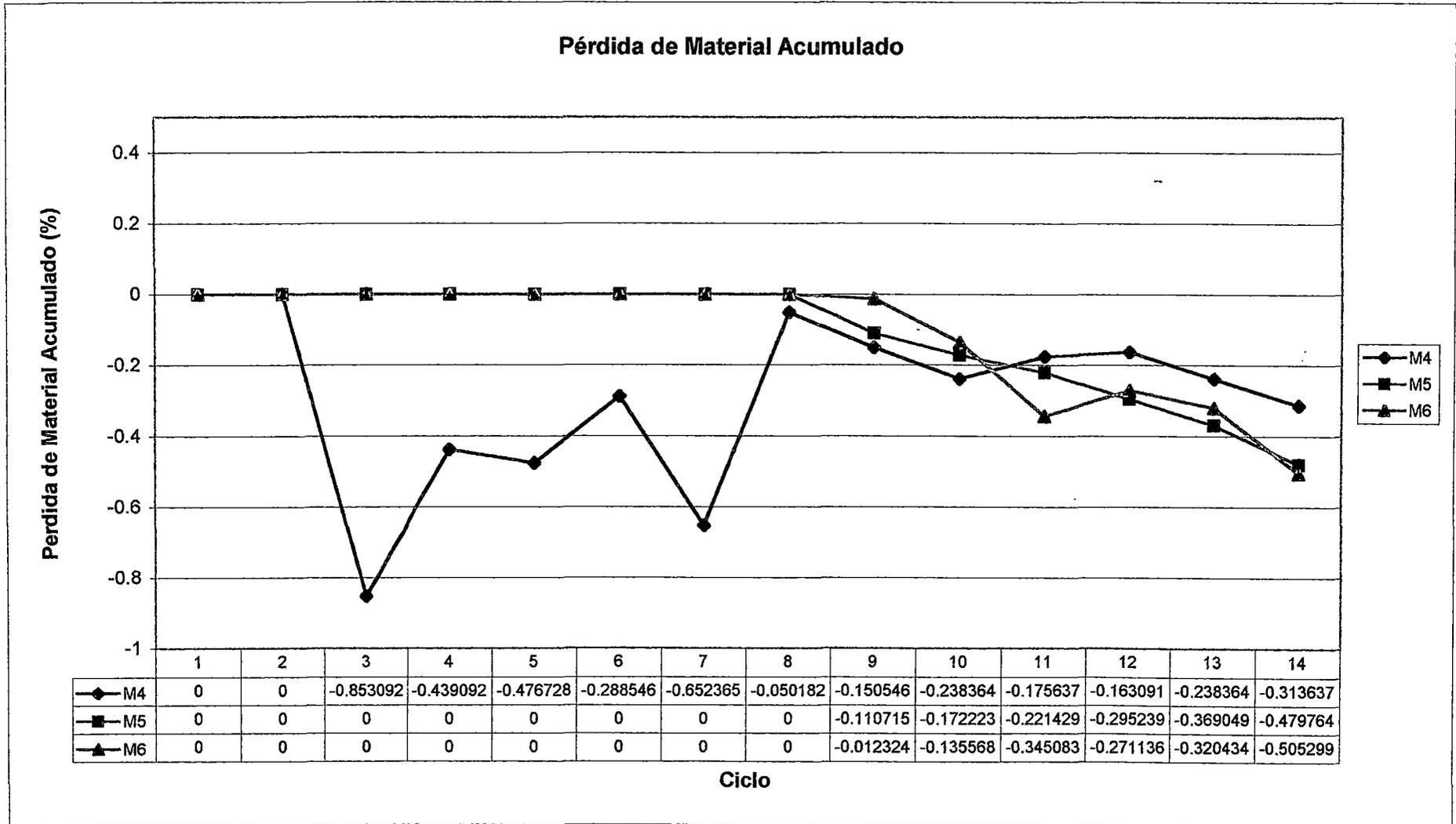


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lit
PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
AGUA 0.60

Gráfica 7.1.22

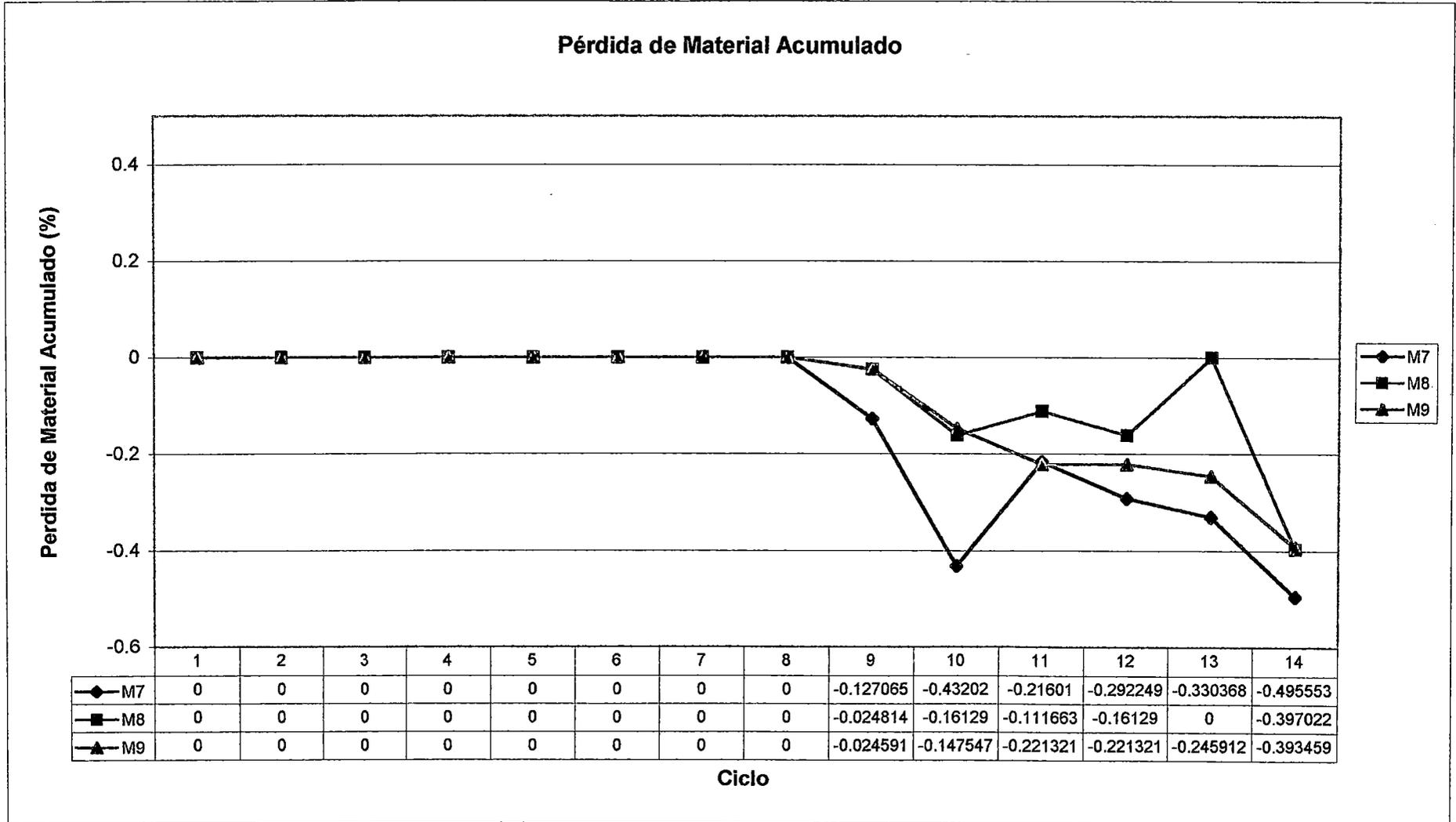


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.23

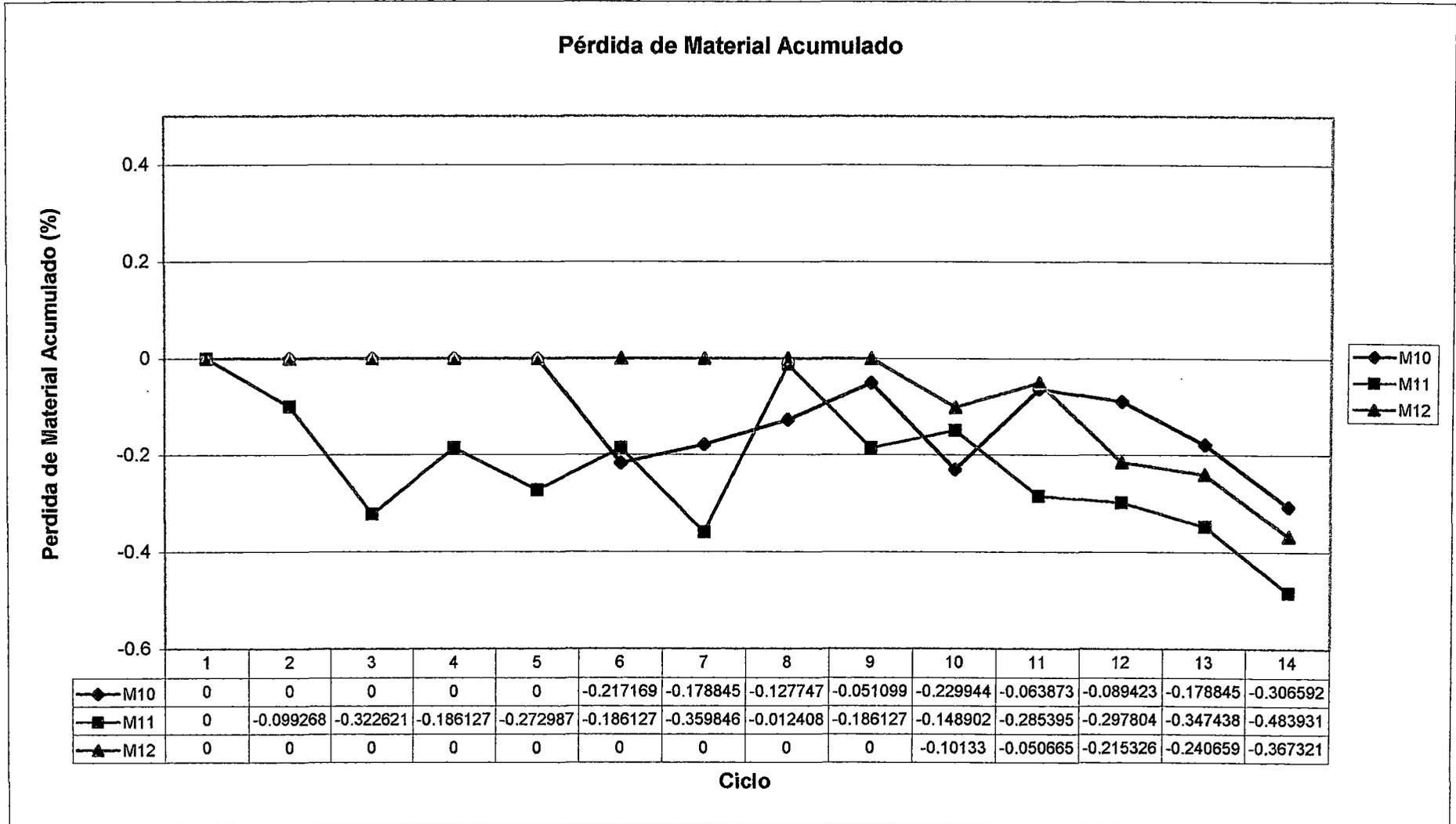


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.24

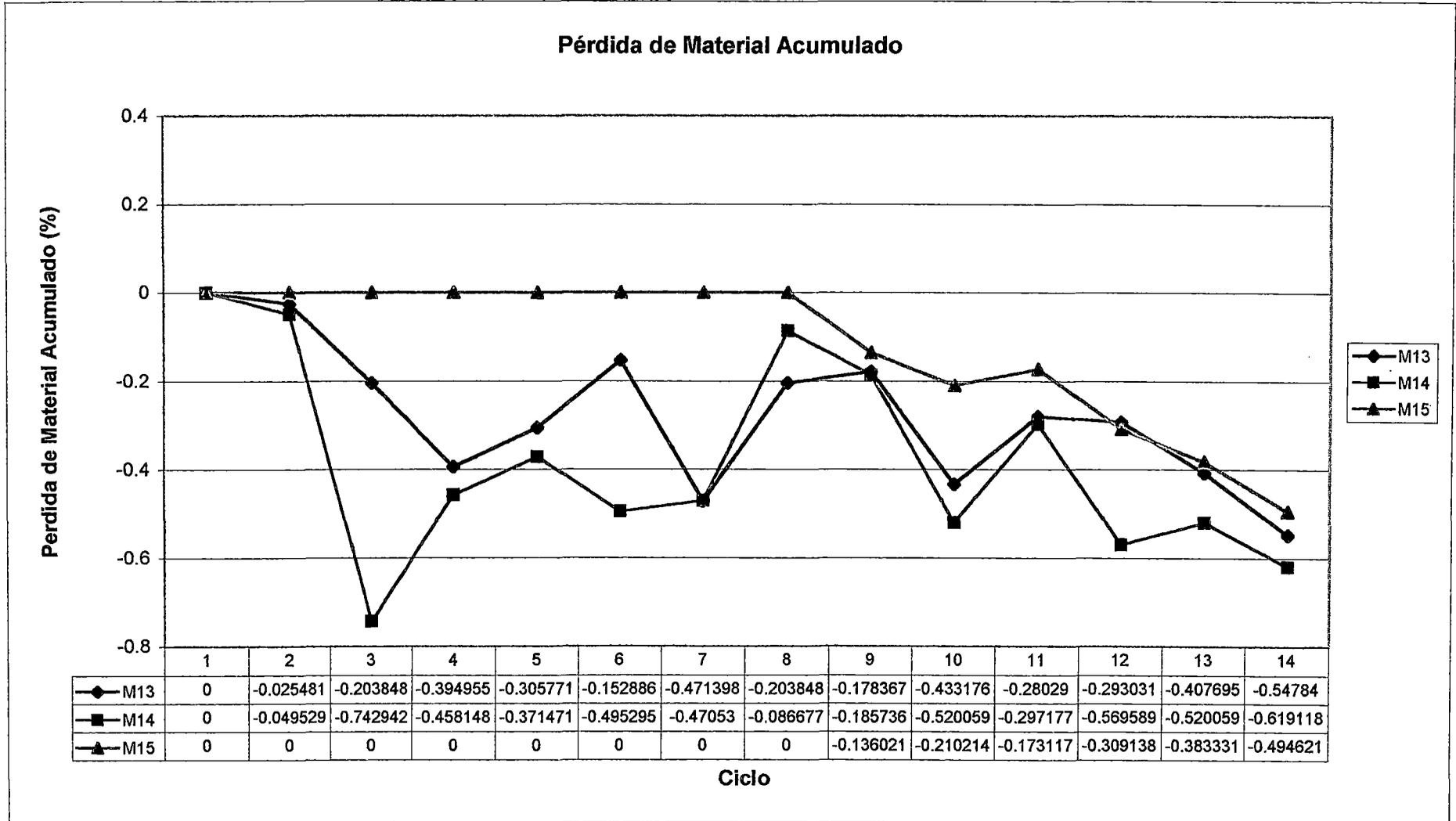


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.25

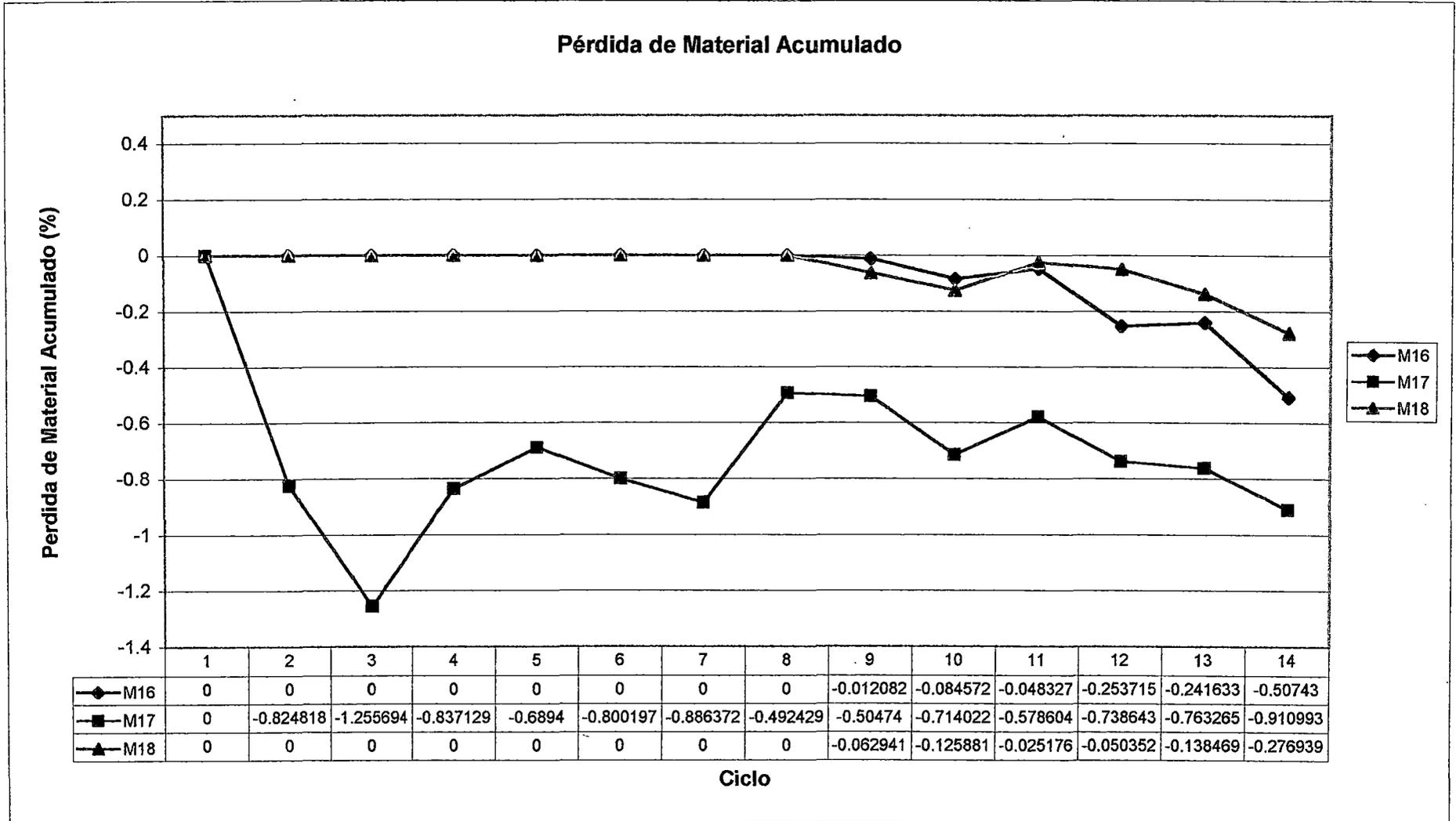


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.26

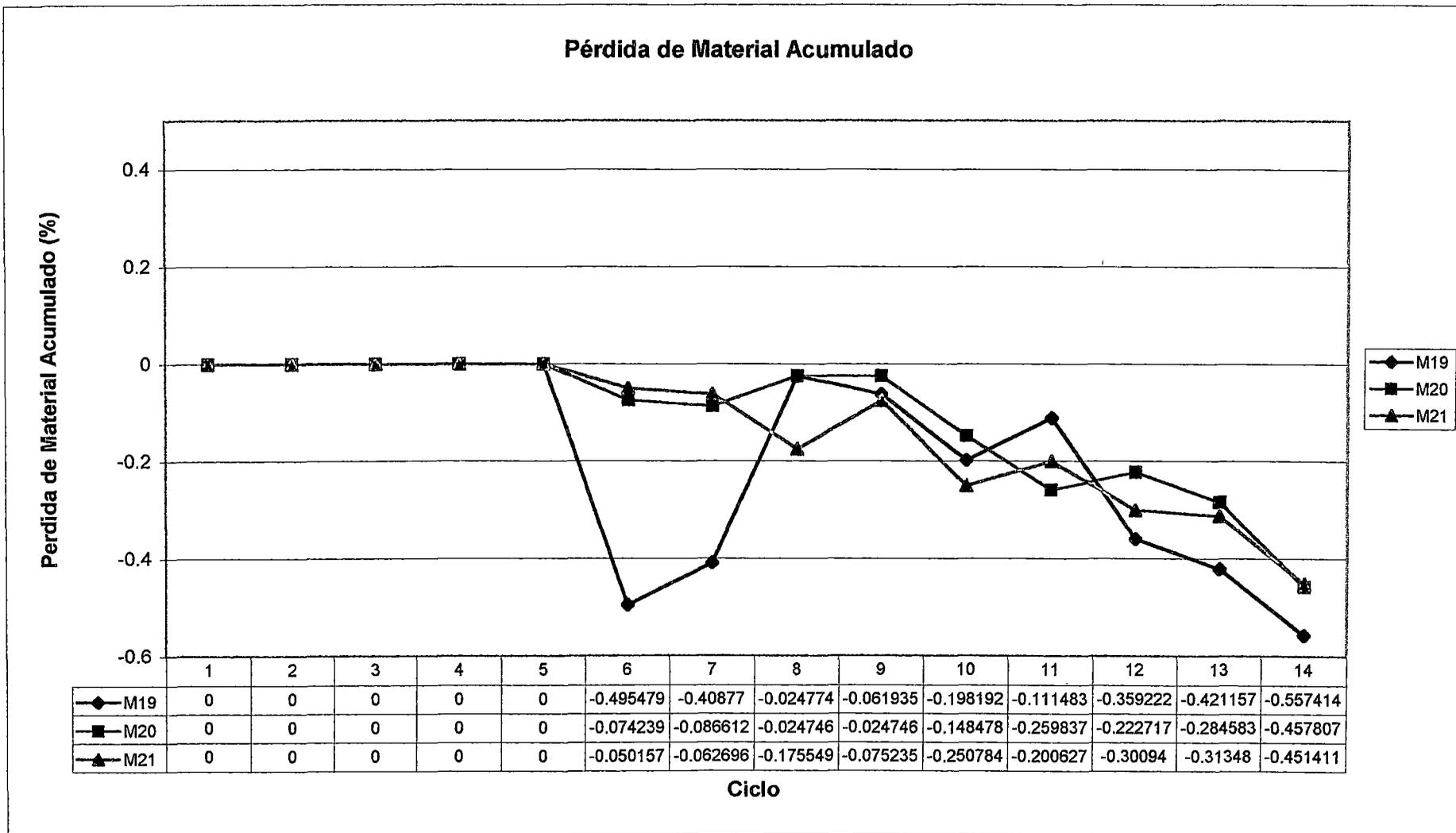


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.27

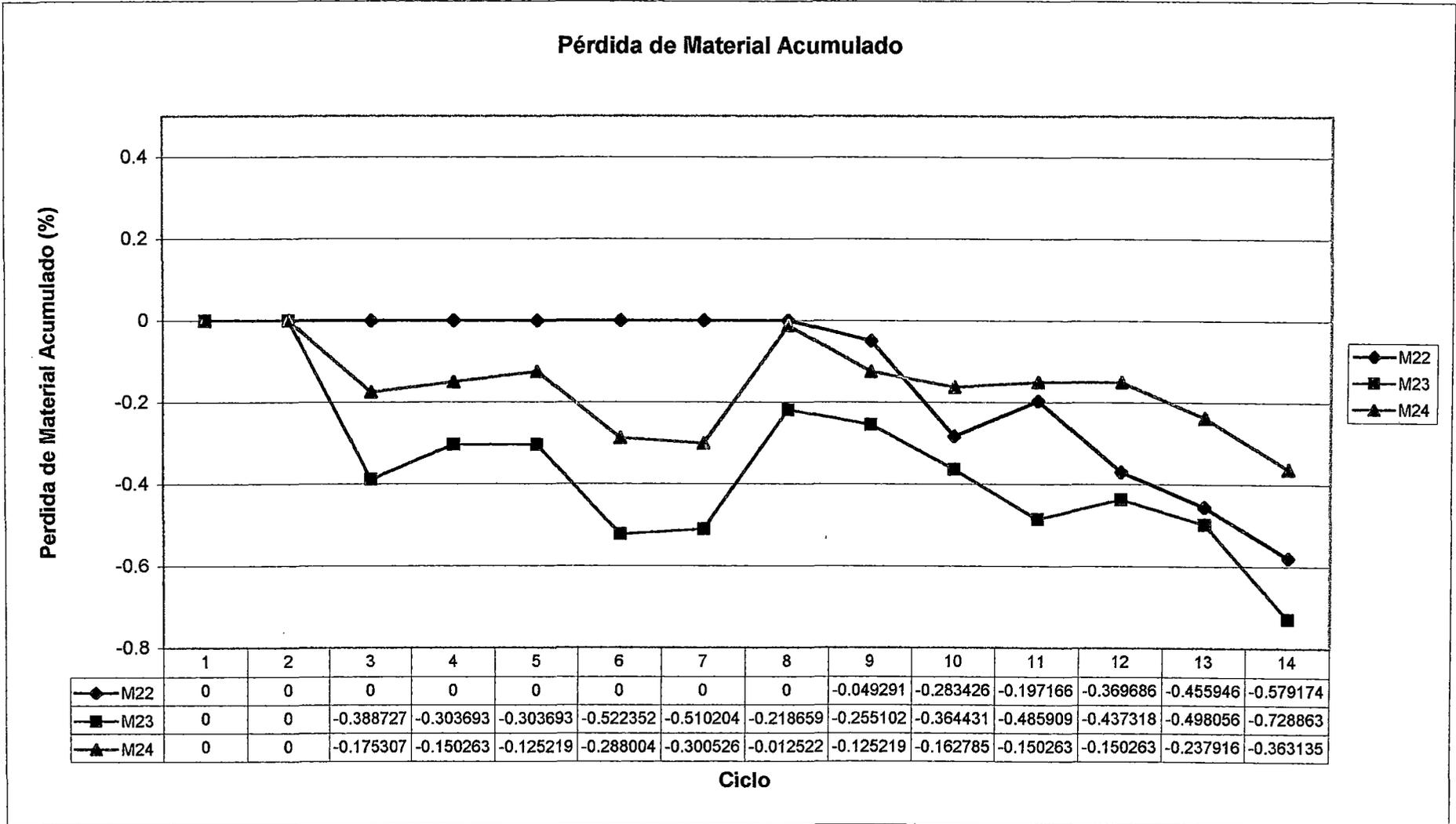


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.28

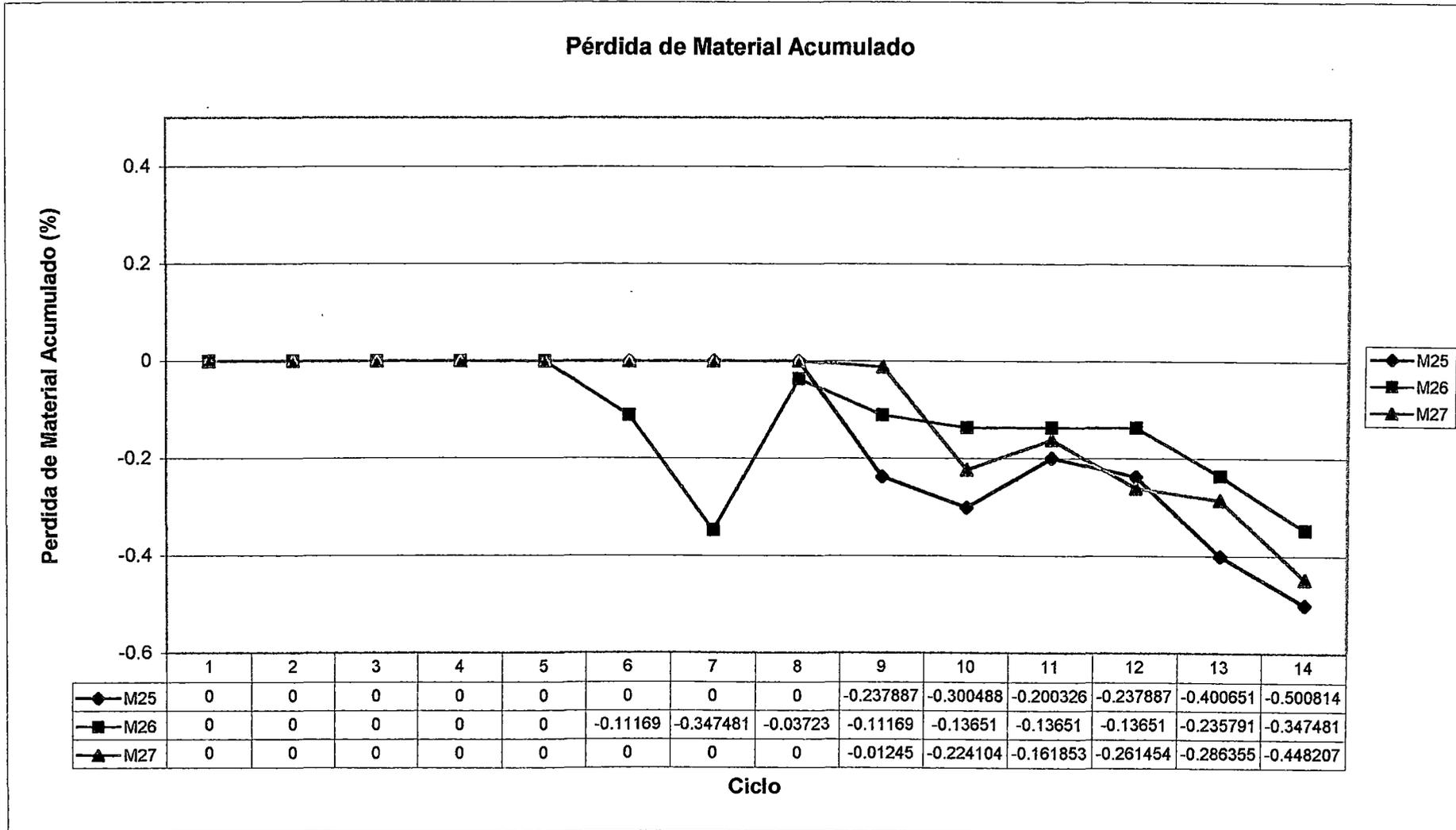


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.29

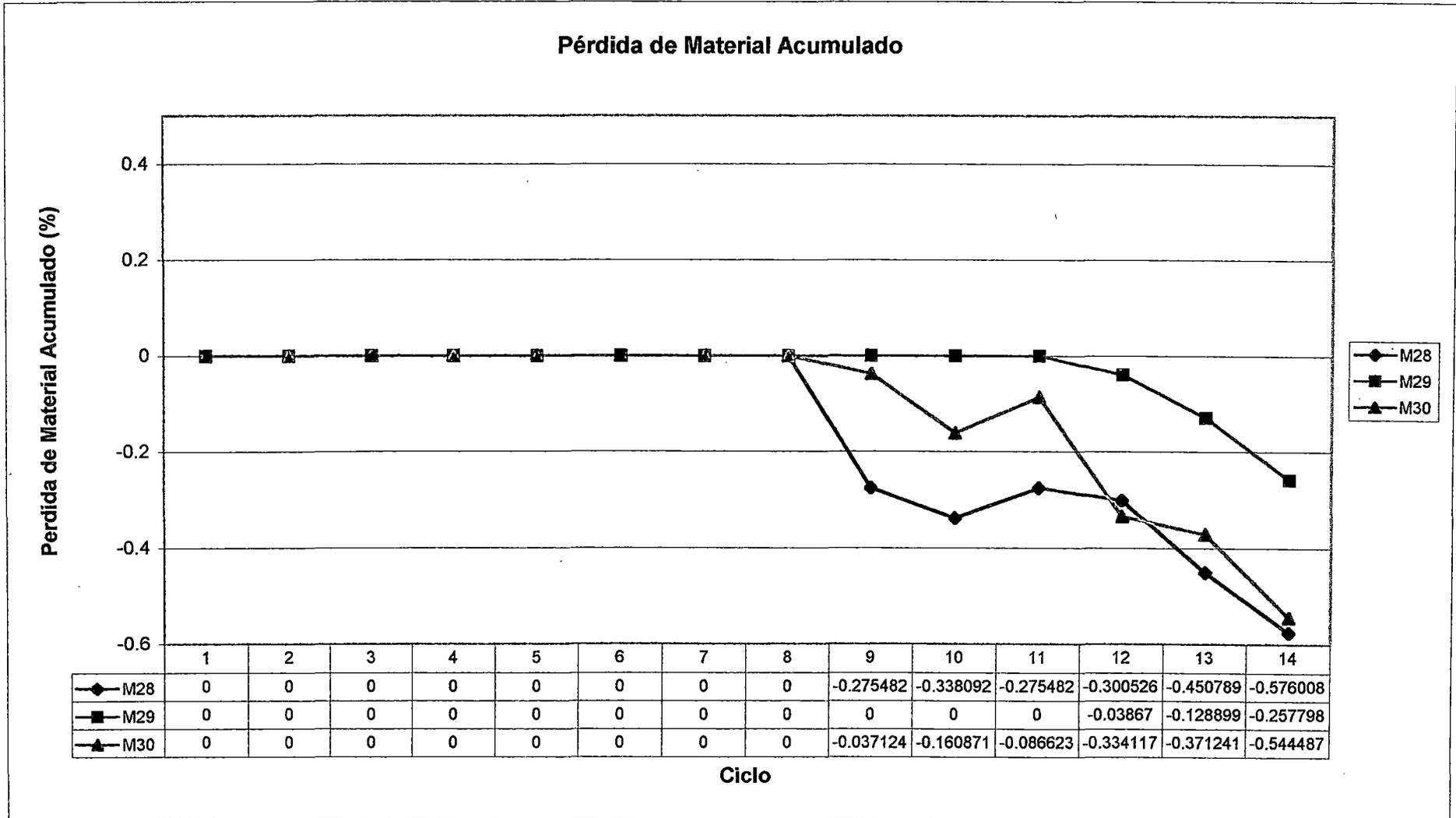


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.30

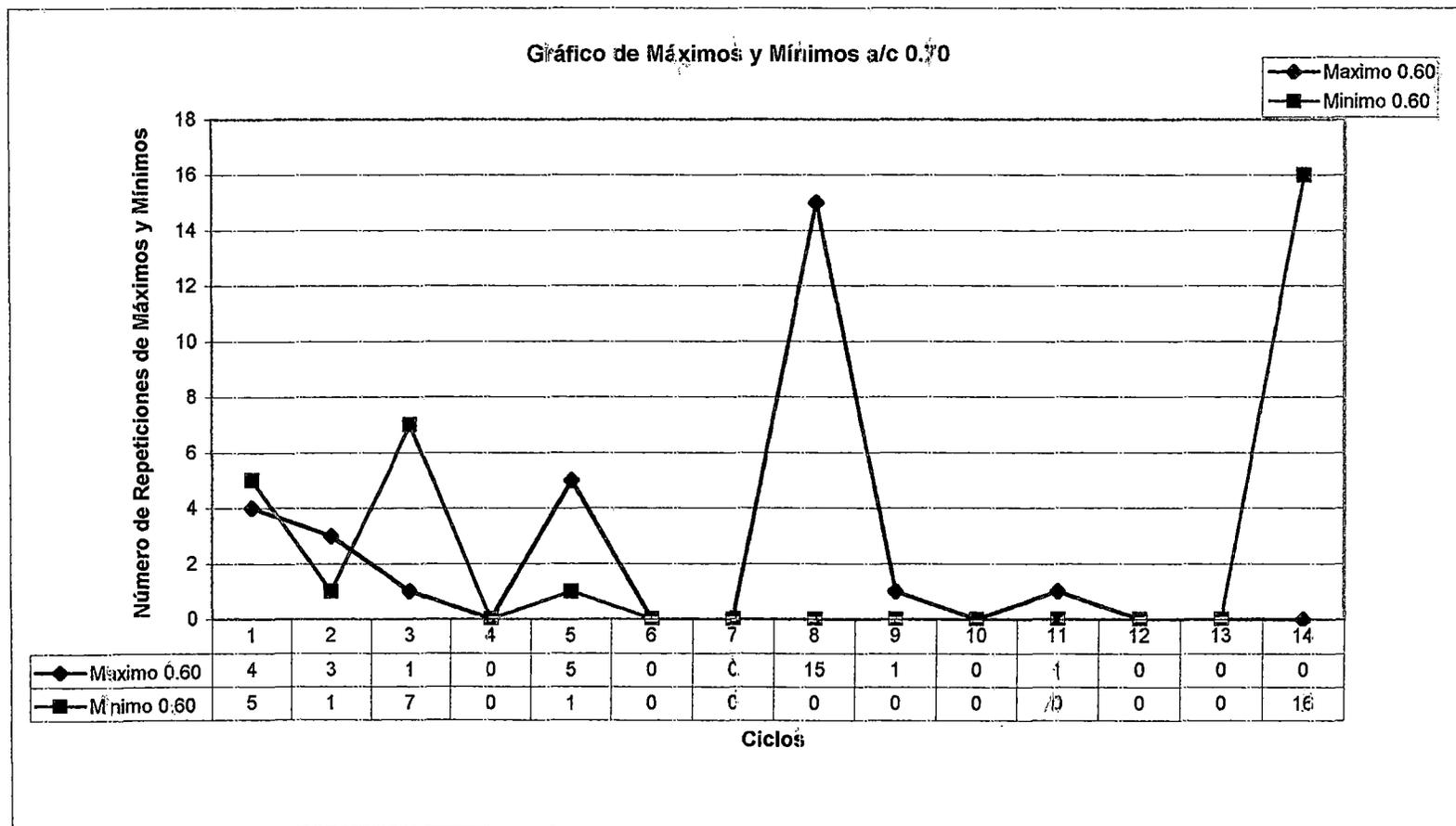


NUMERO DE FRECUENCIAS DE MAXIMOS Y MINIMOS

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Gráfico 7.1.31



7.2.4.3 Relación de Cuadros

Relación agua/cemento 0.65

- Cuadro 7.1.12: Cuadro de Ensayos de Durabilidad.
- Cuadro 7.1.13 al 7.1.15: Cuadro Resumen de Variación de Pesos Acumulados.
- Cuadro 7.1.16 al 7.1.18: Cuadro Resumen de Variación de Pesos Consecutivos.
- Cuadro 7.1.19 al 7.1.21: Cuadro Perdida de Material Acumulado.
- Cuadro 7.1.22: Cuadro Máximos y Mínimos.

ENSAYOS DE DURABILIDAD**A. ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO**

CICLOS DE ENSAYO DE HUMEDECIDO, SECADO Y PERDIDA DE PESO

Cuadro 7.1.12

RELACION a/c 0.65

MUESTRAS	CICLOS DE ENSAYO / PERDIDA DE PESO (gr.)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
M1	3985.5	3985.5	3980.0	3988.5	3991.5	3983.0	3983.0	3974.0	3975.0	3971.5	3973.0	3970.0	3952.5	3954.5
M2	4002.0	3978.5	3988.5	3989.0	3986.5	3982.0	3968.5	3962.5	3963.0	3965.5	3965.0	3961.5	3964.5	3963.5
M3	4065.0	4065.5	4066.0	4067.5	4051.5	4008.5	4026.0	4026.5	4027.0	4026.5	4015.5	4017.0	4021.5	4019.5
M4	4047.0	4048.0	4041.5	4038.5	4043.5	4040.0	4013.0	4018.5	4009.0	4017.0	4015.0	3993.5	4004.5	4001.5
M5	4023.0	3999.0	4005.5	4007.0	4000.5	3993.5	3991.0	3986.5	3984.0	3986.0	3944.5	3956.5	3962.5	3961.5
M6	4065.5	4066.0	4059.5	4063.5	4039.0	4043.0	4031.5	4030.5	4025.5	4028.0	4006.5	4012.0	4019.0	4016.5
M7	4018.5	4015.0	4014.5	4016.5	4016.5	4013.5	4006.0	4004.5	4000.0	3990.0	3997.5	3988.5	3975.0	3978.0
M8	4028.0	4018.5	4026.0	4028.0	4027.5	4015.0	3992.0	3984.0	3990.0	3993.5	3993.5	3990.5	3985.5	3990.5
M9	4170.5	4167.0	4158.5	4163.5	4166.5	4157.0	4156.0	4152.0	4138.0	4146.5	4142.0	4138.0	4146.0	4145.5
M10	3934.5	3934.5	3936.5	3939.5	3941.0	3897.0	3917.5	3913.5	3909.0	3908.5	3892.0	3898.0	3903.5	3869.0
M11	4023.0	4024.5	4023.5	4025.0	4018.0	3983.5	4004.5	4000.5	3994.5	3995.5	3994.0	3989.0	3997.5	3976.5
M12	4011.0	4016.0	4001.5	4006.0	4006.5	4002.0	3997.5	3992.0	3979.5	3966.0	3985.5	3976.0	3964.0	3967.0
M13	4046.0	4046.5	4046.5	4044.5	4017.0	4013.0	4017.5	4015.5	4006.5	3991.0	4003.5	3989.5	3999.5	3998.0
M14	4071.0	4071.5	4070.5	4070.5	4065.5	4051.5	4059.0	4058.0	4033.5	4043.0	4042.5	3987.0	4005.5	4006.5
M15	4009.5	4015.0	4014.5	4016.0	4018.0	3990.0	4000.5	3998.0	3996.5	3997.5	3984.0	3982.5	3990.0	3987.5
M16	3992.5	3997.0	3989.0	3993.0	3995.5	3981.0	3984.0	3980.0	3970.0	3962.5	3970.0	3966.0	3966.0	3964.5
M17	3923.0	3910.0	3921.0	3922.0	3920.0	3913.0	3912.5	3909.0	3906.0	3908.5	3905.5	3903.5	3903.5	3903.5
M18	3968.0	3970.0	3970.0	3961.5	3968.5	3960.5	3955.5	3951.0	3947.5	3949.0	3946.0	3905.5	3920.0	3915.5
M19	3920.0	3927.0	3931.0	3933.5	3935.0	3929.0	3921.0	3921.5	3919.5	3920.0	3895.5	3899.0	3906.5	3889.5
M20	3973.0	3992.0	3989.5	3992.5	3993.5	3987.5	3975.5	3968.5	3970.5	3972.5	3965.0	3945.5	3959.0	3956.5
M21	4085.0	4098.0	4102.0	4104.0	4095.5	4094.0	4088.0	4076.5	4079.0	4081.0	4035.0	4053.5	4059.0	4050.5
M22	4001.0	4007.0	4003.5	4007.0	3995.5	3996.5	3996.0	3994.0	3992.5	3989.0	3988.0	3989.5	3993.0	3989.0
M23	3889.5	3888.5	3885.5	3888.5	3889.5	3863.0	3850.5	3847.5	3842.0	3852.0	3844.0	3843.5	3850.0	3820.0
M24	4016.5	4017.5	4016.0	4002.5	4018.0	4013.0	3974.5	3990.5	3983.5	3988.0	3987.0	3947.5	3976.0	3976.0
M25	4006.0	4008.0	3997.0	4003.5	4005.5	4002.0	3994.0	3975.5	3982.0	3984.0	3938.5	3959.0	3964.5	3961.5
M26	4034.5	4034.0	4033.5	4036.5	4036.0	4028.5	4025.5	4023.0	4013.5	3997.5	4010.5	3978.5	3975.5	3982.0
M27	3988.0	3989.5	3977.0	3983.0	3984.0	3961.5	3974.0	3960.5	3945.0	3958.0	3952.5	3949.5	3956.5	3954.5
M28	4013.0	3995.5	4012.5	4014.0	4014.0	4010.0	3971.5	3983.0	3983.0	3983.0	3978.5	3977.5	3980.5	3980.0
M29	3904.0	3905.5	3905.0	3886.5	3903.5	3898.0	3881.5	3878.0	3875.5	3878.0	3855.5	3861.5	3870.5	3857.5
M30	4041.0	4042.5	4041.0	4028.0	4012.5	4007.5	4011.0	4007.5	3984.0	3990.5	3996.5	3992.0	4000.0	3990.0

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS ACUMULADOS (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.13

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-0.59	0.01	0.02	-0.60	0.01	-0.09	-0.24	-0.08	0.00
3	-0.14	-0.34	0.02	-0.14	-0.43	-0.15	-0.10	-0.05	-0.29	0.05
4	0.08	-0.32	0.06	-0.21	-0.40	-0.05	-0.05	0.00	-0.17	0.13
5	0.15	-0.39	-0.33	-0.09	-0.56	-0.65	-0.05	-0.01	-0.10	0.16
6	-0.06	-0.50	-1.39	-0.17	-0.73	-0.55	-0.12	-0.32	-0.32	-0.95
7	-0.06	-0.84	-0.96	-0.84	-0.80	-0.84	-0.31	-0.89	-0.35	-0.43
8	-0.29	-0.99	-0.95	-0.70	-0.91	-0.86	-0.35	-1.09	-0.44	-0.53
9	-0.26	-0.97	-0.93	-0.94	-0.97	-0.98	-0.46	-0.94	-0.78	-0.65
10	-0.35	-0.91	-0.95	-0.74	-0.92	-0.92	-0.71	-0.86	-0.58	-0.66
11	-0.31	-0.92	-1.22	-0.79	-1.95	-1.45	-0.52	-0.86	-0.68	-1.08
12	-0.39	-1.01	-1.18	-1.32	-1.65	-1.32	-0.75	-0.93	-0.78	-0.93
13	-0.83	-0.94	-1.07	-1.05	-1.50	-1.14	-1.08	-1.06	-0.59	-0.79
14	-0.78	-0.96	-1.12	-1.12	-1.53	-1.21	-1.01	-0.93	-0.60	-1.66

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 MUESTRAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.14

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.04	0.12	0.01	0.01	0.14	0.11	-0.33	0.05	0.18	0.48
3	0.01	-0.24	0.01	-0.01	0.12	-0.09	-0.05	0.05	0.28	0.41
4	0.05	-0.12	-0.04	-0.01	0.16	0.01	-0.03	-0.16	0.34	0.49
5	-0.12	-0.11	-0.72	-0.14	0.21	0.08	-0.08	0.01	0.38	0.51
6	-0.98	-0.22	-0.82	-0.48	-0.49	-0.29	-0.25	-0.19	0.23	0.36
7	-0.46	-0.34	-0.70	-0.29	-0.22	-0.21	-0.27	-0.31	0.03	0.06
8	-0.56	-0.47	-0.75	-0.32	-0.29	-0.31	-0.36	-0.43	0.04	-0.11
9	-0.71	-0.78	-0.98	-0.92	-0.32	-0.56	-0.43	-0.52	-0.01	-0.06
10	-0.68	-1.12	-1.36	-0.69	-0.30	-0.75	-0.37	-0.48	0.00	-0.01
11	-0.72	-0.63	-1.05	-0.70	-0.63	-0.56	-0.45	-0.55	-0.62	-0.20
12	-0.84	-0.87	-1.40	-2.06	-0.67	-0.66	-0.50	-1.57	-0.53	-0.69
13	-0.63	-1.17	-1.15	-1.61	-0.49	-0.66	-0.50	-1.21	-0.34	-0.35
14	-1.16	-1.10	-1.19	-1.58	-0.55	-0.70	-0.50	-1.32	-0.78	-0.41

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 MUESTRAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.15

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.32	0.15	-0.03	0.02	0.05	-0.01	0.04	-0.44	0.04	0.04
3	0.41	0.06	-0.10	-0.01	-0.22	-0.02	-0.28	-0.01	0.03	0.00
4	0.46	0.15	-0.03	-0.35	-0.06	0.05	-0.13	0.02	-0.45	-0.32
5	0.26	-0.14	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.10	0.02	-0.01	-0.71
6	0.22	-0.11	-0.68	-0.09	-0.10	-0.15	-0.66	-0.07	-0.15	-0.83
7	0.07	-0.12	-1.00	-1.05	-0.30	-0.22	-0.35	-1.03	-0.58	-0.74
8	-0.21	-0.17	-1.08	-0.65	-0.76	-0.28	-0.69	-0.75	-0.67	-0.83
9	-0.15	-0.21	-1.22	-0.82	-0.60	-0.52	-1.08	-0.75	-0.73	-1.41
10	-0.10	-0.30	-0.96	-0.71	-0.55	-0.92	-0.75	-0.75	-0.67	-1.25
11	-1.22	-0.32	-1.17	-0.73	-1.68	-0.59	-0.89	-0.86	-1.24	-1.10
12	-0.77	-0.29	-1.18	-1.72	-1.17	-1.39	-0.97	-0.88	-1.09	-1.21
13	-0.63	-0.20	-1.02	-1.01	-1.04	-1.46	-0.79	-0.81	-0.86	-1.01
14	-0.84	-0.30	-1.79	-1.01	-1.11	-1.30	-0.84	-0.82	-1.19	-1.26

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr.)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.16

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1										
2	0	-23.5	0.5	1	-24	0.5	-3.5	-9.5	-3.5	0
3	-5.5	10	0.5	-6.5	6.5	-6.5	-0.5	7.5	-8.5	2
4	8.5	0.5	1.5	-3	1.5	4	2	2	5	3
5	3	-2.5	-16	5	-6.5	-24.5	0	-0.5	3	1.5
6	-8.5	-4.5	-43	-3.5	-7	4	-3	-12.5	-9.5	-44
7	0	-13.5	17.5	-27	-2.5	-11.5	-7.5	-23	-1	20.5
8	-9	-6	0.5	5.5	-4.5	-1	-1.5	-8	-4	-4
9	1	0.5	0.5	-9.5	-2.5	-5	-4.5	6	-14	-4.5
10	-3.5	2.5	-0.5	8	2	2.5	-10	3.5	8.5	-0.5
11	1.5	-0.5	-11	-2	-41.5	-21.5	7.5	0	-4.5	-16.5
12	-3	-3.5	1.5	-21.5	12	5.5	-9	-3	-4	6
13	-17.5	3	4.5	11	6	7	-13.5	-5	8	5.5
14	2	-1	-2	-3	-1	-2.5	3	5	-0.5	-34.5

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.3.17

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1										
2	1.5	5	0.5	0.5	5.5	4.5	-13	2	7	19
3	-1	-14.5	0	-1	-0.5	-8	11	0	4	-2.5
4	1.5	4.5	-2	0	1.5	4	1	-8.5	2.5	3
5	-7	0.5	-27.5	-5	2	2.5	-2	7	1.5	1
6	-34.5	-4.5	-4	-14	-28	-14.5	-7	-8	-6	-6
7	21	-4.5	4.5	7.5	10.5	3	-0.5	-5	-8	-12
8	-4	-5.5	-2	-1	-2.5	-4	-3.5	-4.5	0.5	-7
9	-6	-12.5	-9	-24.5	-1.5	-10	-3	-3.5	-2	2
10	1	-13.5	-15.5	9.5	1	-7.5	2.5	1.5	0.5	2
11	-1.5	19.5	12.5	-0.5	-13.5	7.5	-3	-3	-24.5	-7.5
12	-5	-9.5	-14	-55.5	-1.5	-4	-2	-40.5	3.5	-19.5
13	8.5	-12	10	18.5	7.5	0	0	14.5	7.5	13.5
14	-21	3	-1.5	1	-2.5	-1.5	0	-4.5	-17	-2.5

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.3.18

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1										
2	13	6	-1	1	2	-0.5	1.5	-17.5	1.5	1.5
3	4	-3.5	-3	-1.5	-11	-0.5	-12.5	17	-0.5	-1.5
4	2	3.5	3	-13.5	6.5	3	6	1.5	-18.5	-13
5	-8.5	-11.5	1	15.5	2	-0.5	1	0	17	-15.5
6	-1.5	1	-26.5	-5	-3.5	-7.5	-22.5	-4	-5.5	-5
7	-6	-0.5	-12.5	-38.5	-8	-3	12.5	-38.5	-16.5	3.5
8	-11.5	-2	-3	16	-18.5	-2.5	-13.5	11.5	-3.5	-3.5
9	2.5	-1.5	-5.5	-7	6.5	-9.5	-15.5	0	-2.5	-23.5
10	2	-3.5	10	4.5	2	-16	13	0	2.5	6.5
11	-46	-1	-8	-1	-45.5	13	-5.5	-4.5	-22.5	6
12	18.5	1.5	-0.5	-39.5	20.5	-32	-3	-1	6	-4.5
13	5.5	3.5	6.5	28.5	5.5	-3	7	3	9	8
14	-8.5	-4	-30	0	-3	6.5	-2	-0.5	-13	-10

PERDIDA DE MATERIAL AUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.19

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1										
2		-0.59			-0.60		-0.09	-0.24	-0.08	
3		-0.34		-0.16	-0.43	-0.16	-0.10	-0.05	-0.29	
4		-0.32		-0.23	-0.40	-0.06	-0.05	0.00	-0.17	
5		-0.39	-0.39	-0.11	-0.56	-0.66	-0.05	-0.01	-0.10	
6	-0.21	-0.50	-1.45	-0.20	-0.73	-0.57	-0.12	-0.32	-0.32	-1.12
7	-0.21	-0.84	-1.02	-0.86	-0.80	-0.85	-0.31	-0.89	-0.35	-0.60
8	-0.44	-0.99	-1.01	-0.73	-0.91	-0.87	-0.35	-1.09	-0.44	-0.70
9	-0.41	-0.97	-1.00	-0.96	-0.97	-1.00	-0.46	-0.94	-0.78	-0.81
10	-0.50	-0.91	-1.01	-0.77	-0.92	-0.93	-0.71	-0.86	-0.58	-0.82
11	-0.46	-0.92	-1.28	-0.82	-1.95	-1.46	-0.52	-0.86	-0.68	-1.24
12	-0.54	-1.01	-1.24	-1.35	-1.65	-1.33	-0.75	-0.93	-0.78	-1.09
13	-0.98	-0.94	-1.13	-1.07	-1.50	-1.16	-1.08	-1.06	-0.59	-0.95
14	-0.93	-0.96	-1.18	-1.15	-1.53	-1.22	-1.01	-0.93	-0.60	-1.83

PERDIDA DE MATERIAL AUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.20

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1										
2							-0.33			
3		-0.36		-0.02		-0.20	-0.05			
4		-0.25	-0.05	-0.02		-0.10	-0.03	-0.21		
5	-0.17	-0.24	-0.73	-0.15		-0.04	-0.08	-0.04		
6	-1.03	-0.35	-0.83	-0.49	-0.70	-0.40	-0.25	-0.24	-0.15	-0.15
7	-0.51	-0.46	-0.72	-0.31	-0.44	-0.33	-0.27	-0.37	-0.36	-0.45
8	-0.61	-0.60	-0.77	-0.33	-0.50	-0.43	-0.36	-0.48	-0.34	-0.63
9	-0.76	-0.91	-0.99	-0.93	-0.54	-0.68	-0.43	-0.57	-0.39	-0.58
10	-0.73	-1.25	-1.37	-0.70	-0.51	-0.86	-0.37	-0.53	-0.38	-0.53
11	-0.77	-0.76	-1.06	-0.71	-0.85	-0.68	-0.45	-0.60	-1.00	-0.71
12	-0.89	-1.00	-1.41	-2.08	-0.88	-0.78	-0.50	-1.62	-0.91	-1.20
13	-0.68	-1.29	-1.16	-1.62	-0.70	-0.78	-0.50	-1.26	-0.72	-0.86
14	-1.20	-1.22	-1.20	-1.60	-0.76	-0.81	-0.50	-1.37	-1.16	-0.93

PERDIDA DE MATERIAL AUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.21

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1										
2										
3		-0.09			-0.27		-0.31		-0.01	-0.04
4		0.00			-0.11		-0.16		-0.49	-0.36
5	-0.21	-0.29			-0.06	-0.01	-0.14	0.00	-0.05	-0.74
6	-0.24	-0.26	-0.68	-0.12	-0.15	-0.20	-0.70	-0.10	-0.19	-0.87
7	-0.39	-0.27	-1.00	-1.08	-0.35	-0.27	-0.39	-1.06	-0.61	-0.78
8	-0.67	-0.32	-1.08	-0.68	-0.81	-0.33	-0.73	-0.77	-0.70	-0.87
9	-0.61	-0.36	-1.22	-0.86	-0.65	-0.57	-1.12	-0.77	-0.77	-1.45
10	-0.56	-0.45	-0.96	-0.75	-0.60	-0.97	-0.79	-0.77	-0.70	-1.29
11	-1.68	-0.47	-1.17	-0.77	-1.73	-0.64	-0.93	-0.88	-1.28	-1.14
12	-1.23	-0.44	-1.18	-1.75	-1.22	-1.44	-1.00	-0.91	-1.13	-1.25
13	-1.10	-0.35	-1.02	-1.05	-1.09	-1.51	-0.83	-0.83	-0.90	-1.05
14	-1.30	-0.45	-1.79	-1.05	-1.16	-1.35	-0.88	-0.85	-1.23	-1.30

MÁXIMOS Y MÍNIMOS

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro 7.1.22

MUESTRA	MAXIMO (gr)	CICLO	MINIMO (gr)	CICLO	MUESTRA	MAXIMO (gr)	CICLO	MINIMO (gr)	CICLO
M1	3991.5	5	3952.5	13	M16	3997.0	2	3962.5	10
M2	4002.0	1	3961.5	12	M17	3923.0	1	3903.5	13
M3	4067.5	4	4008.5	6	M18	3970.0	3	3905.5	12
M4	4048.0	2	3993.5	12	M19	3935.0	5	3889.5	14
M5	4023.0	1	3944.5	11	M20	3993.5	5	3945.5	12
M6	4066.0	2	4006.5	11	M21	4104.0	4	4035.0	11
M7	4018.5	1	3975.0	13	M22	4007.0	2	3988.0	11
M8	4028.0	1	3984.0	8	M23	3889.5	5	3820.0	14
M9	4170.5	1	4138.0	12	M24	4018.0	5	3947.5	12
M10	3941.0	5	3869.0	14	M25	4008.0	2	3938.5	11
M11	4025.0	4	3976.5	14	M26	4036.5	4	3975.5	13
M12	4016.0	2	3964.0	13	M27	3989.5	2	3945.0	9
M13	4046.5	3	3989.5	12	M28	4014.0	4	3971.5	7
M14	4071.5	2	3987.0	12	M29	3905.5	2	3855.5	11
M15	4018.0	5	3982.5	12	M30	4042.5	2	3984.0	9

7.2.4.4 Relación de Gráficos

Relación agua-cemento 0.65

Gráfico 7.1.32 al 7.1.41: Gráfico Variación de Peso Acumulado

Gráfico 7.1.42 al 7.1.51: Gráfico Variación de Peso Consecutivo

Gráfico 7.1.52 al 7.1.61: Gráfico Pérdida de Material Acumulado

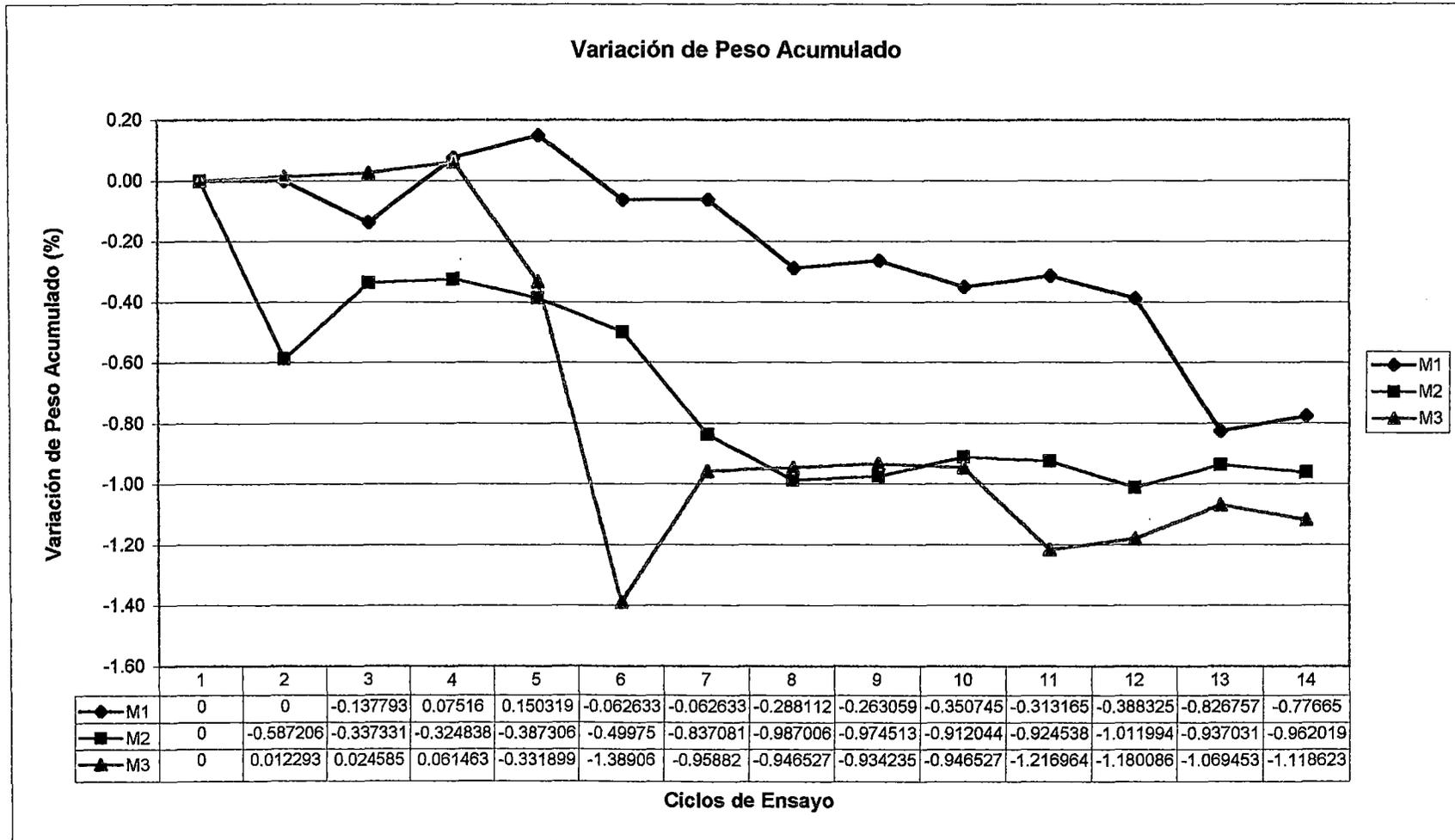
Gráfico 7.1.62: Gráficos Número de Frecuencias de Máximos y Mínimos.

VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

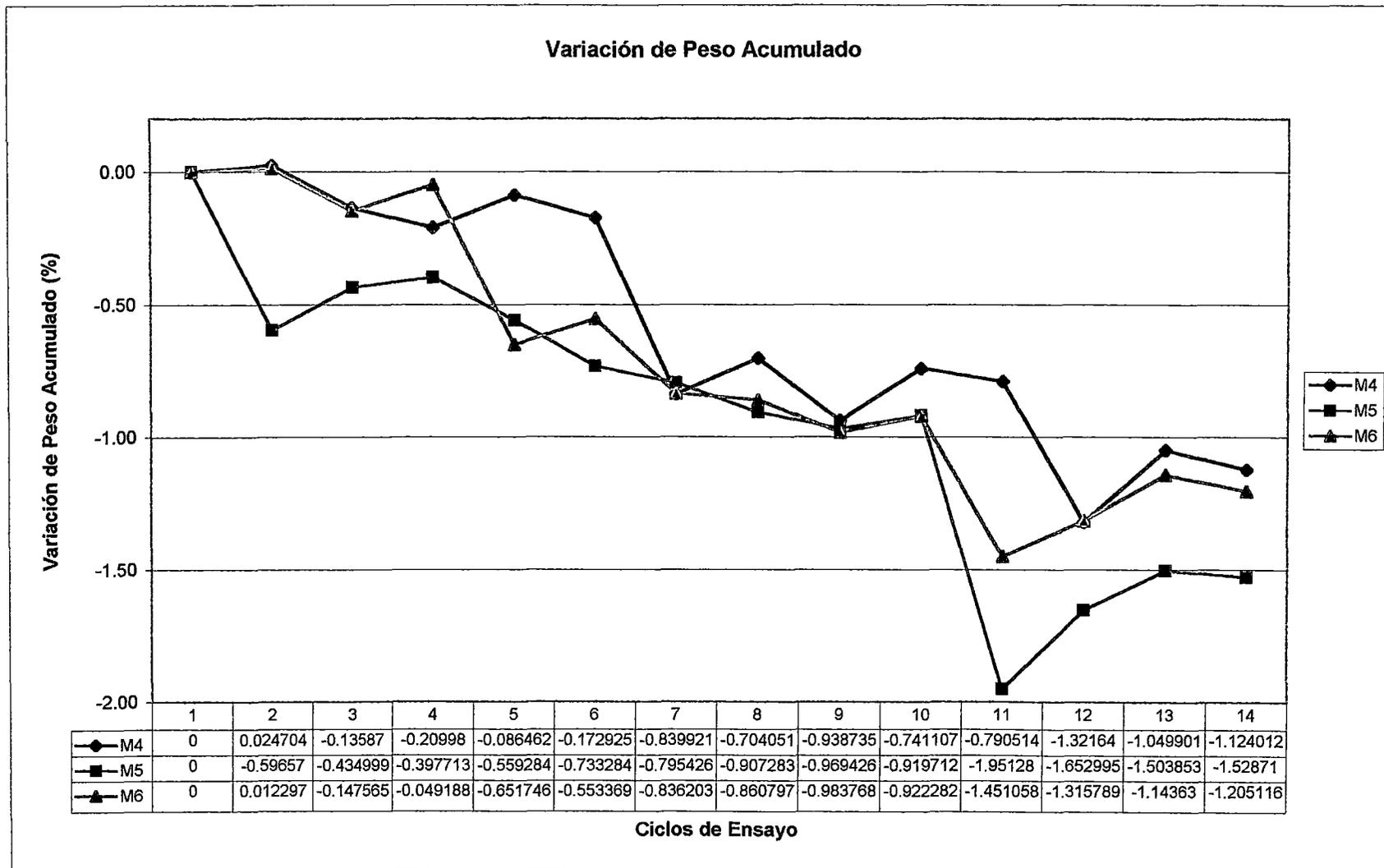
Gráfico 7.1.32



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

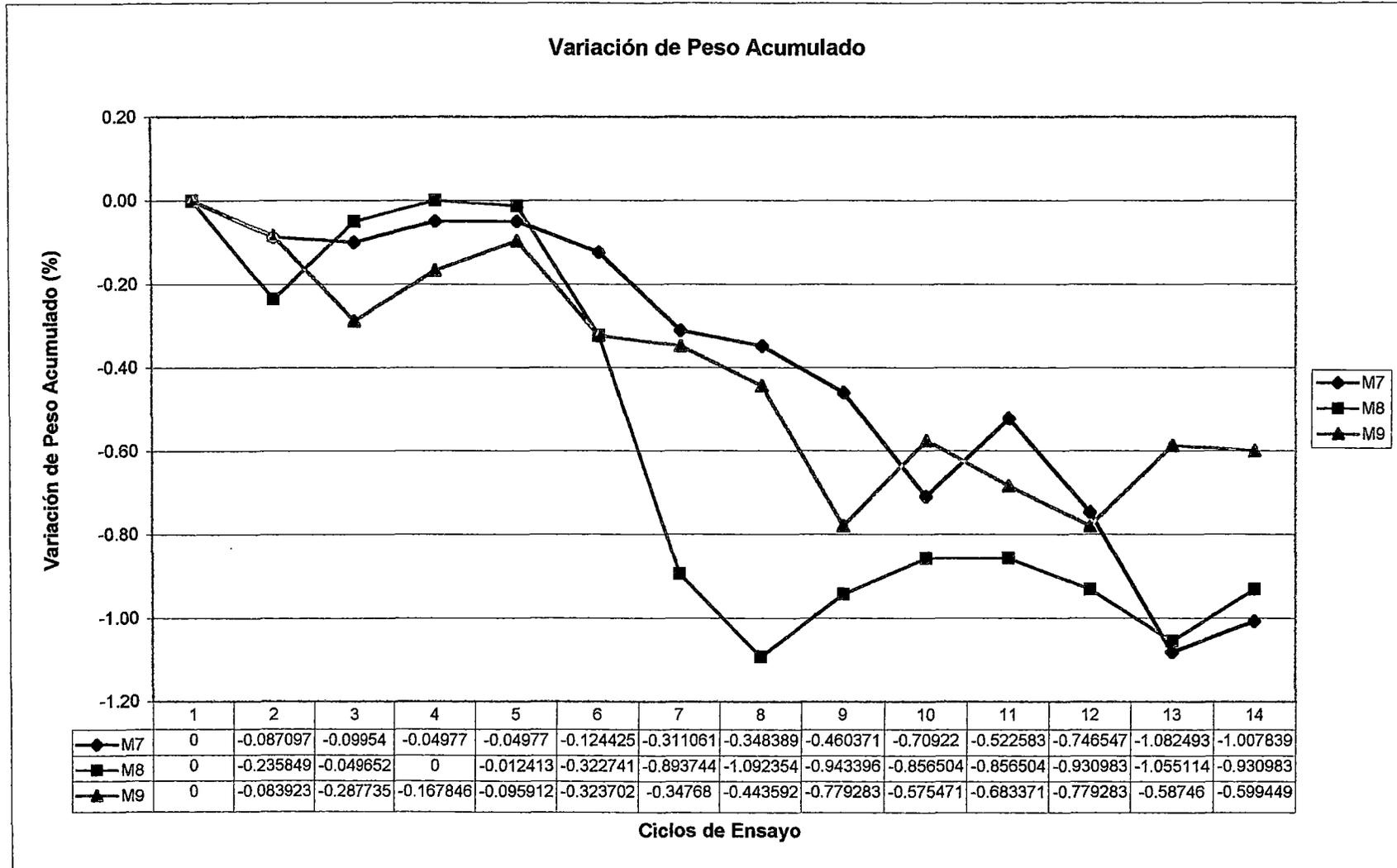
Gráfico 7.1.33



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

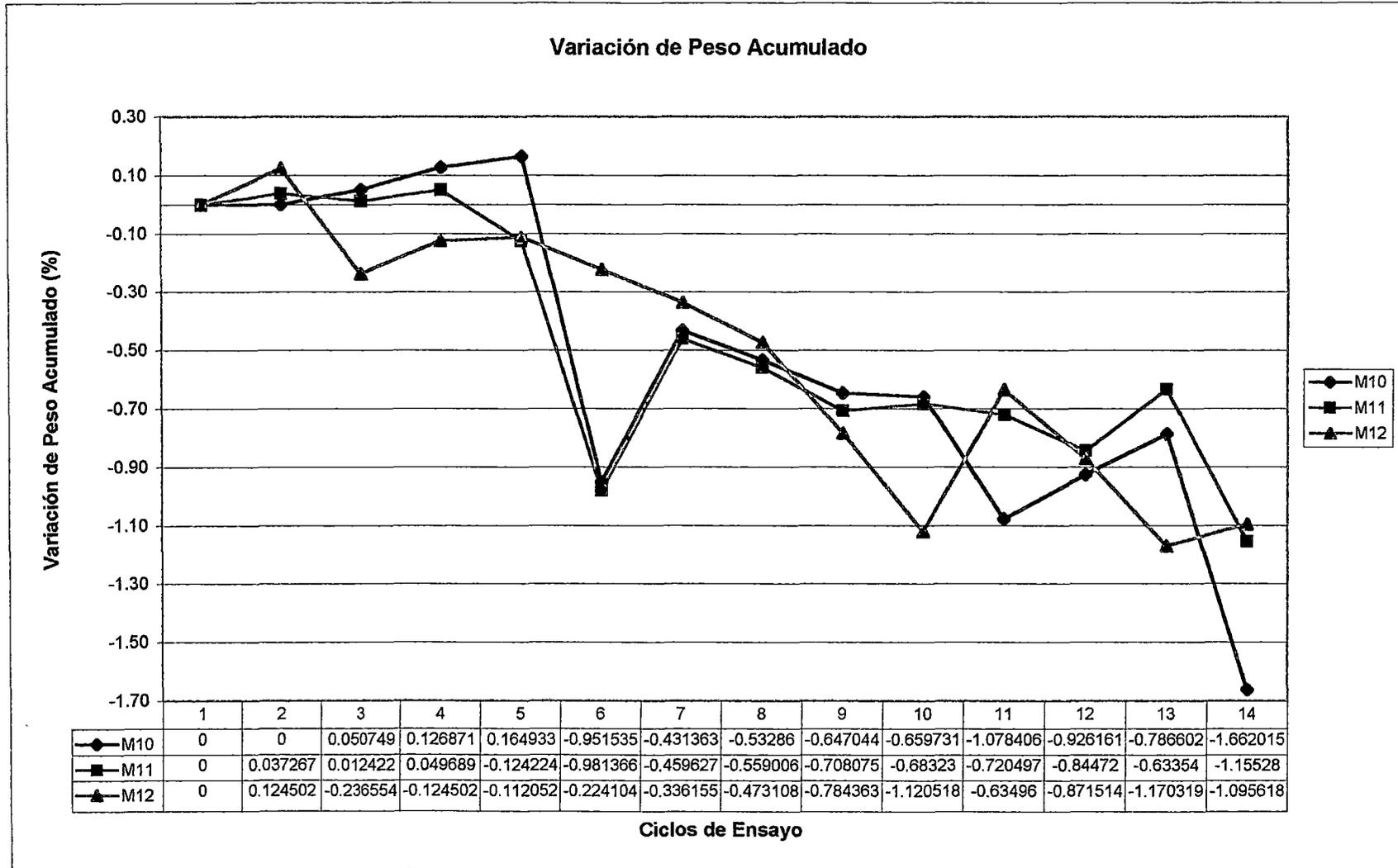
Gráfico 7.1.34



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

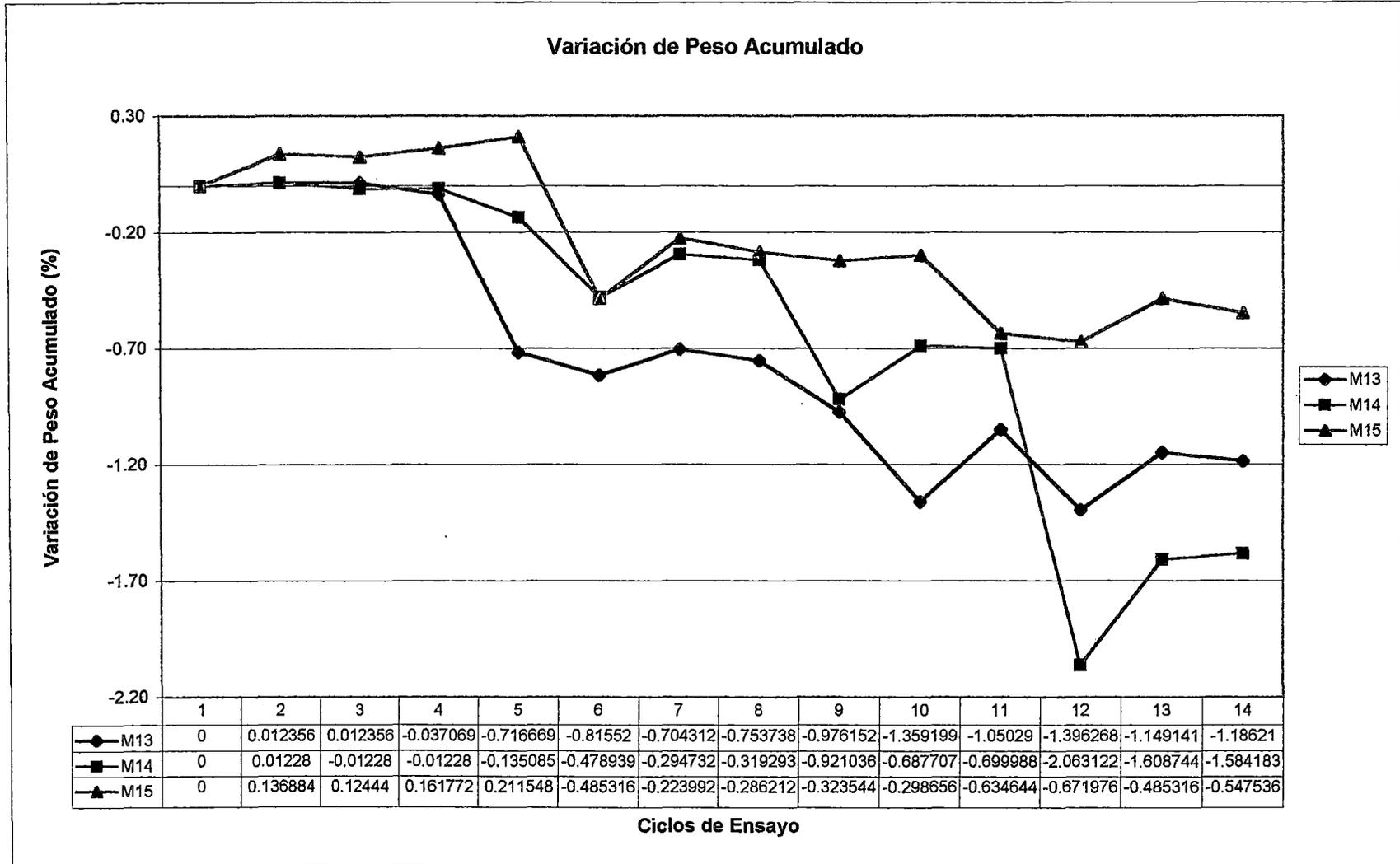
Gráfico 7.1.35



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

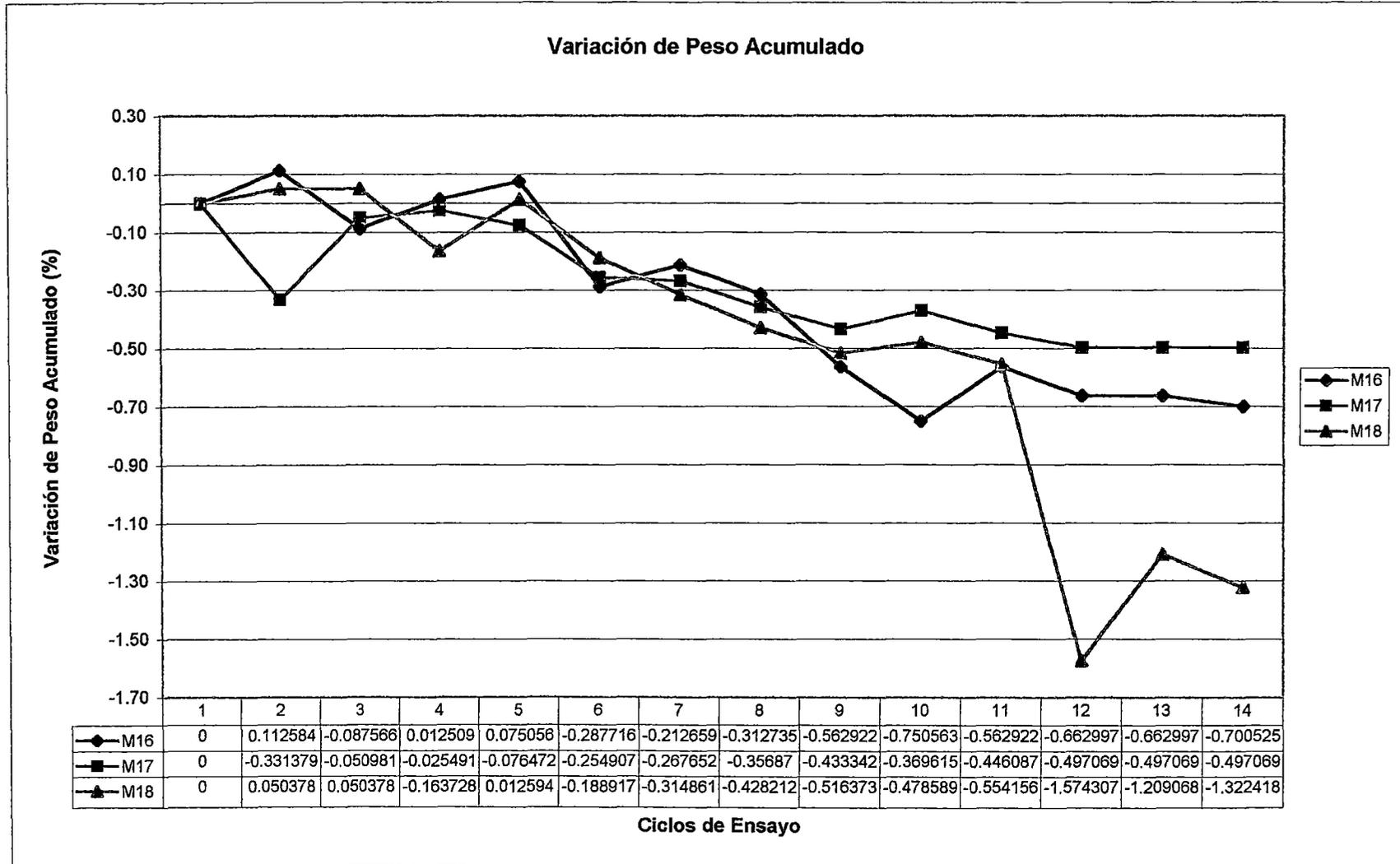
Gráfico 7.1.36



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

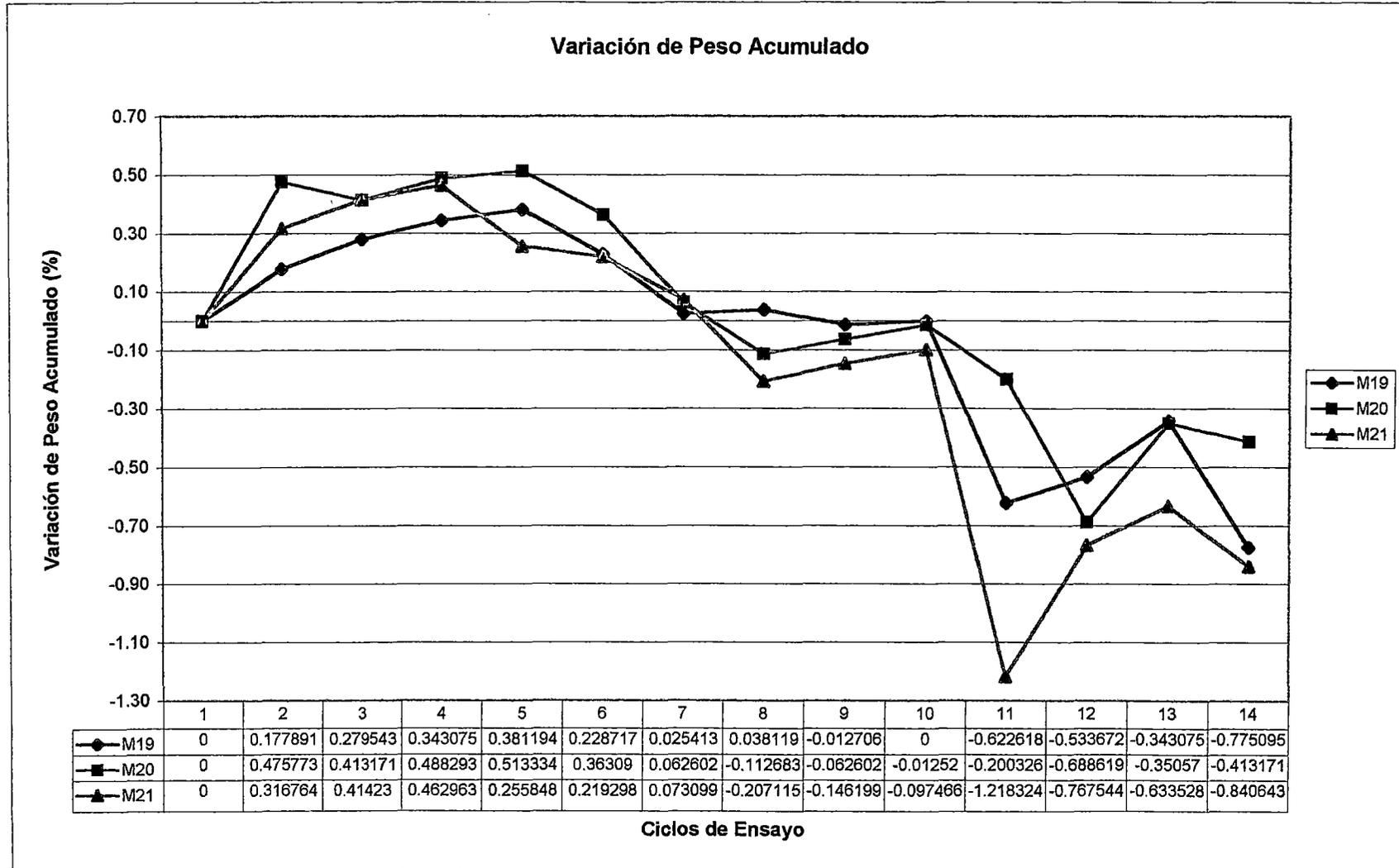
Gráfico 7.1.37



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

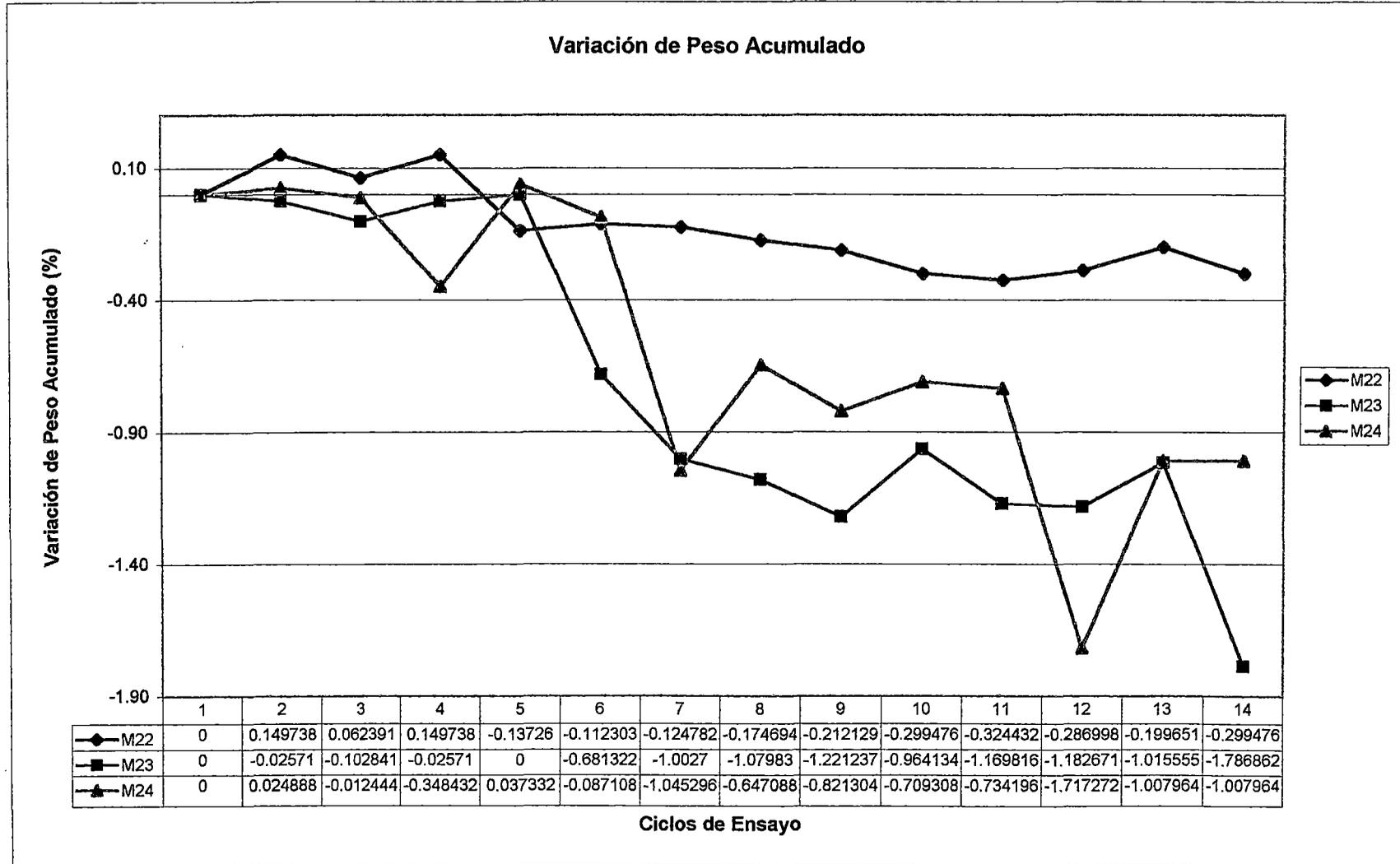
Gráfico 7.1.38



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

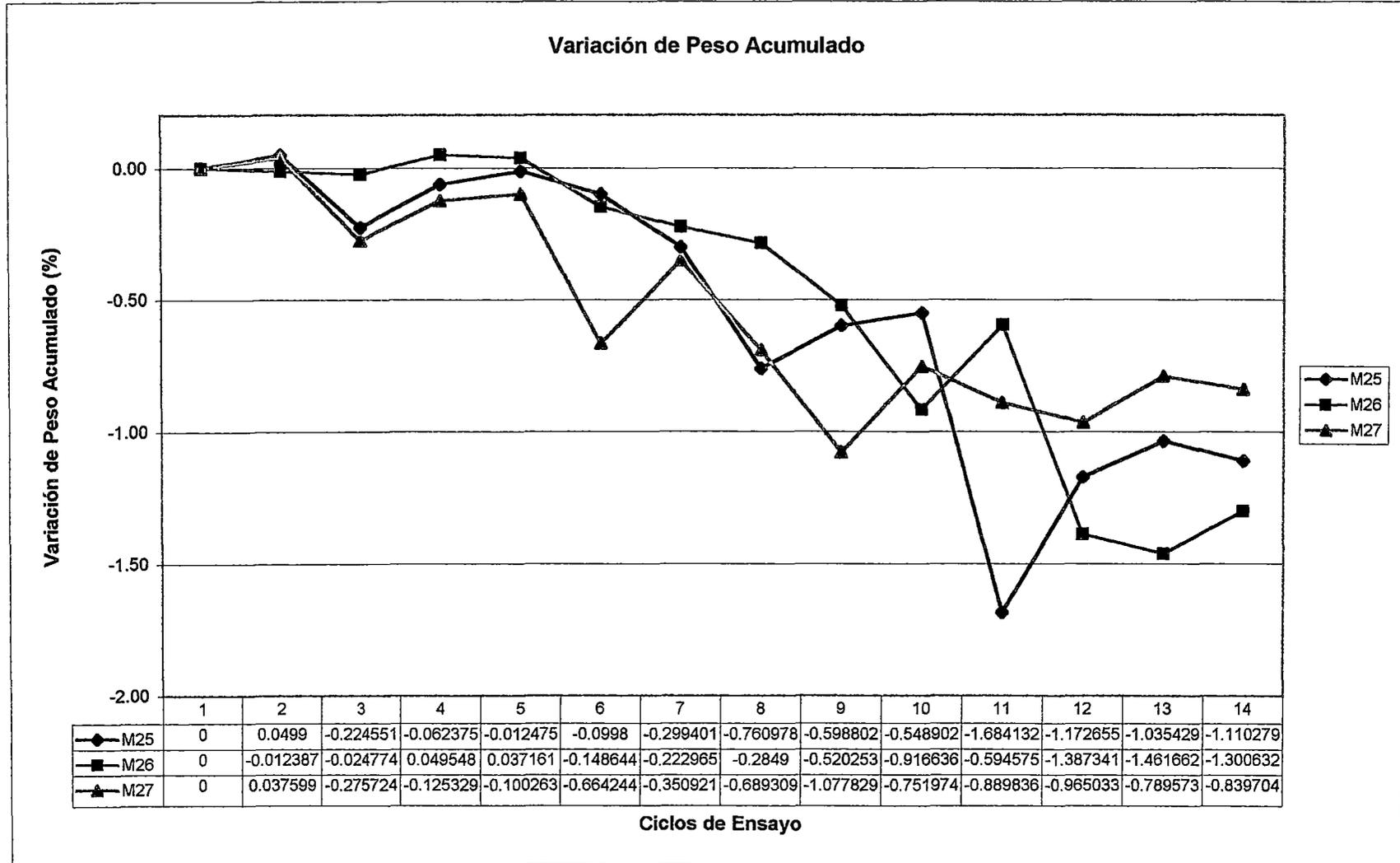
Gráfico 7.1.39



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

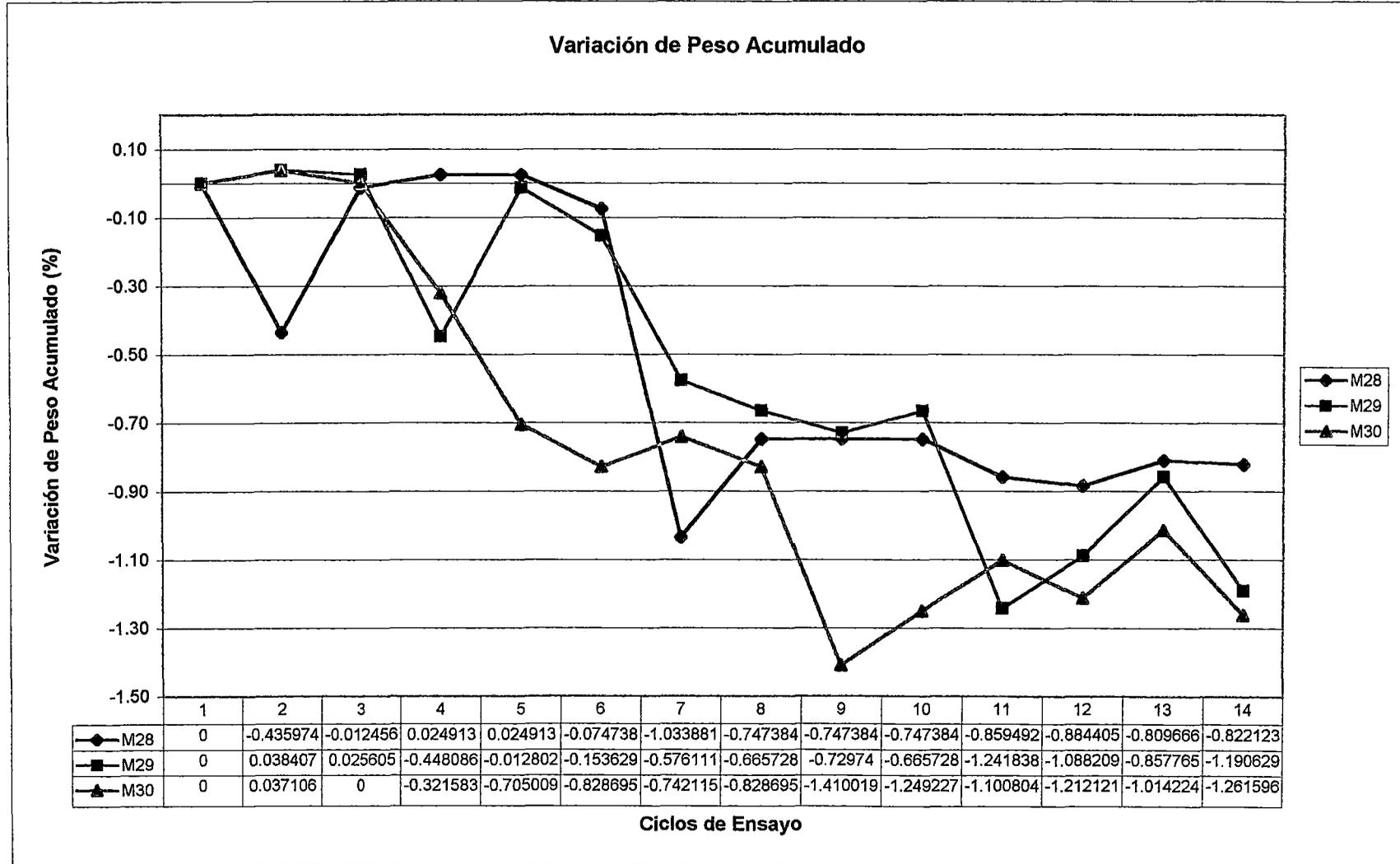
Gráfico 7.1.40



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.41

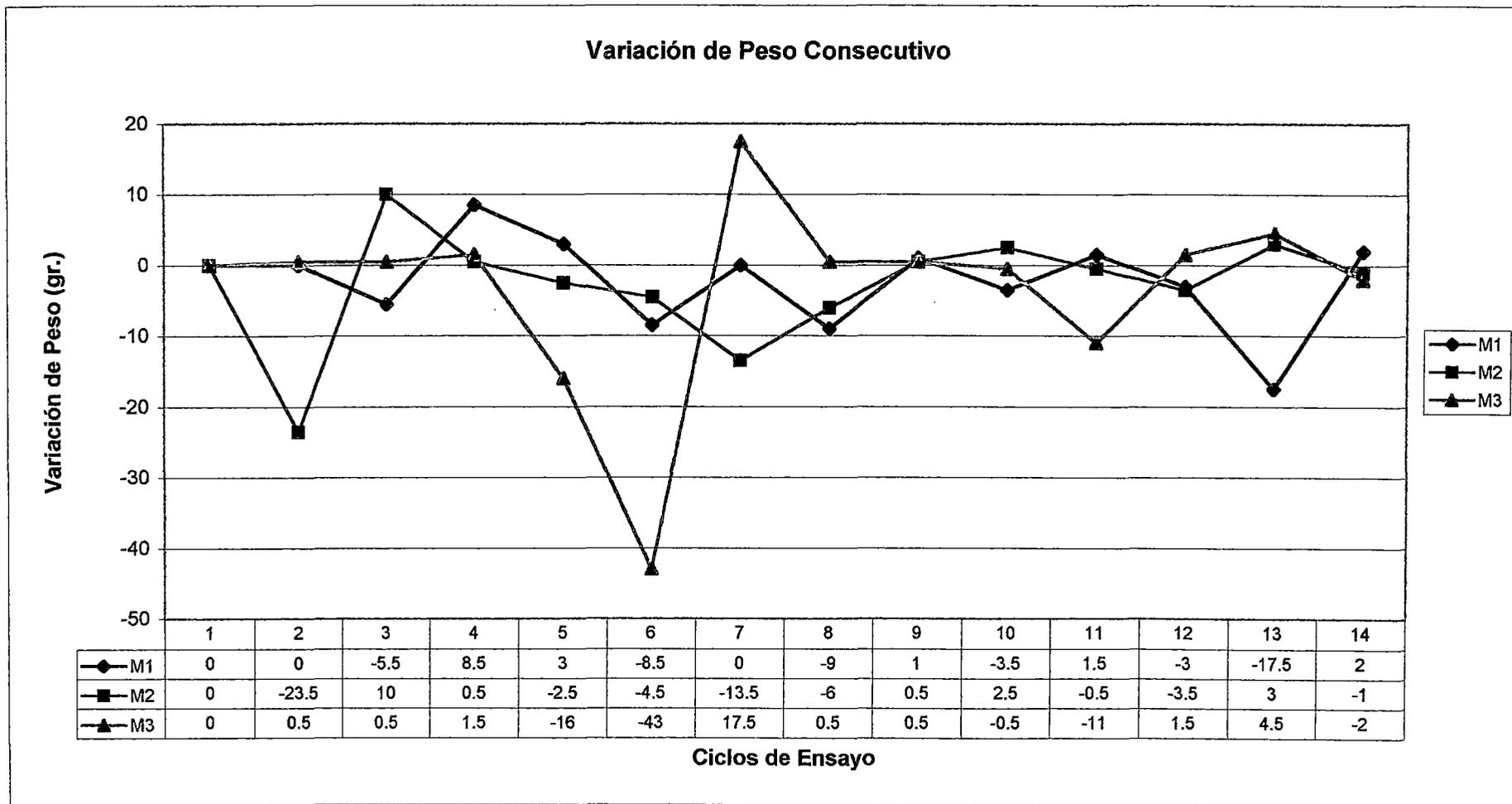


VARIACION DE PESO CONSECUTIVO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.42

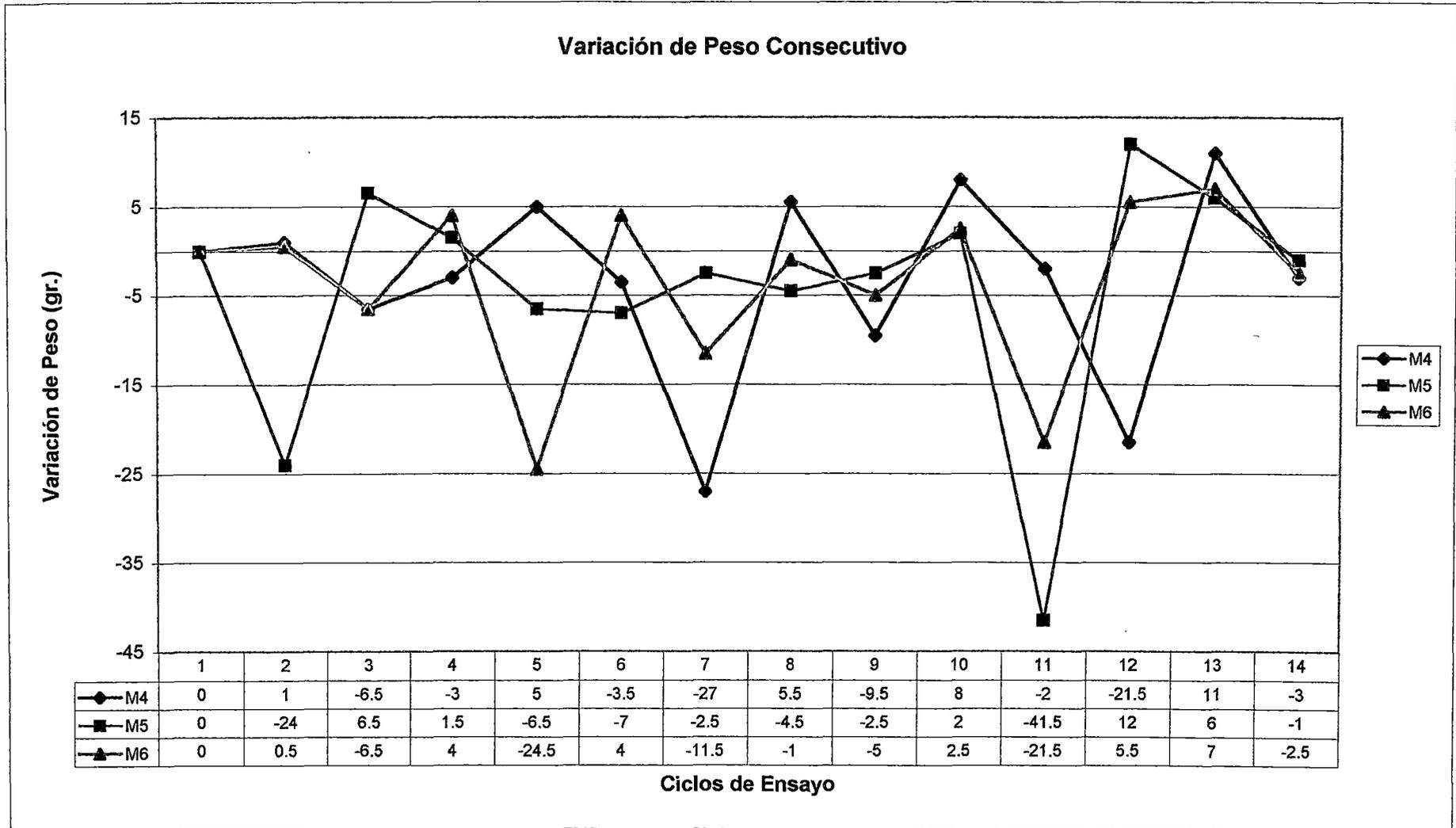


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.43

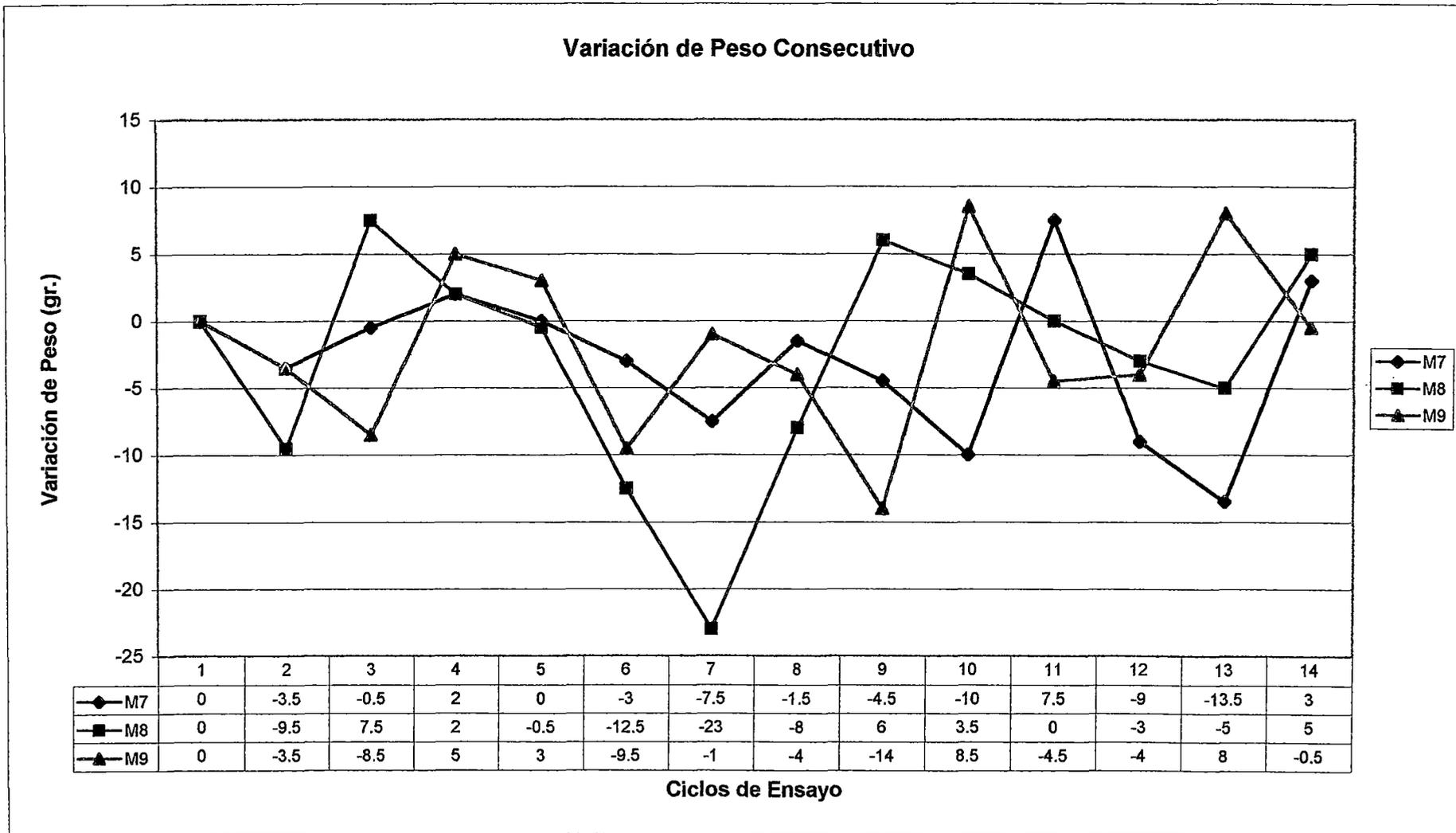


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.44

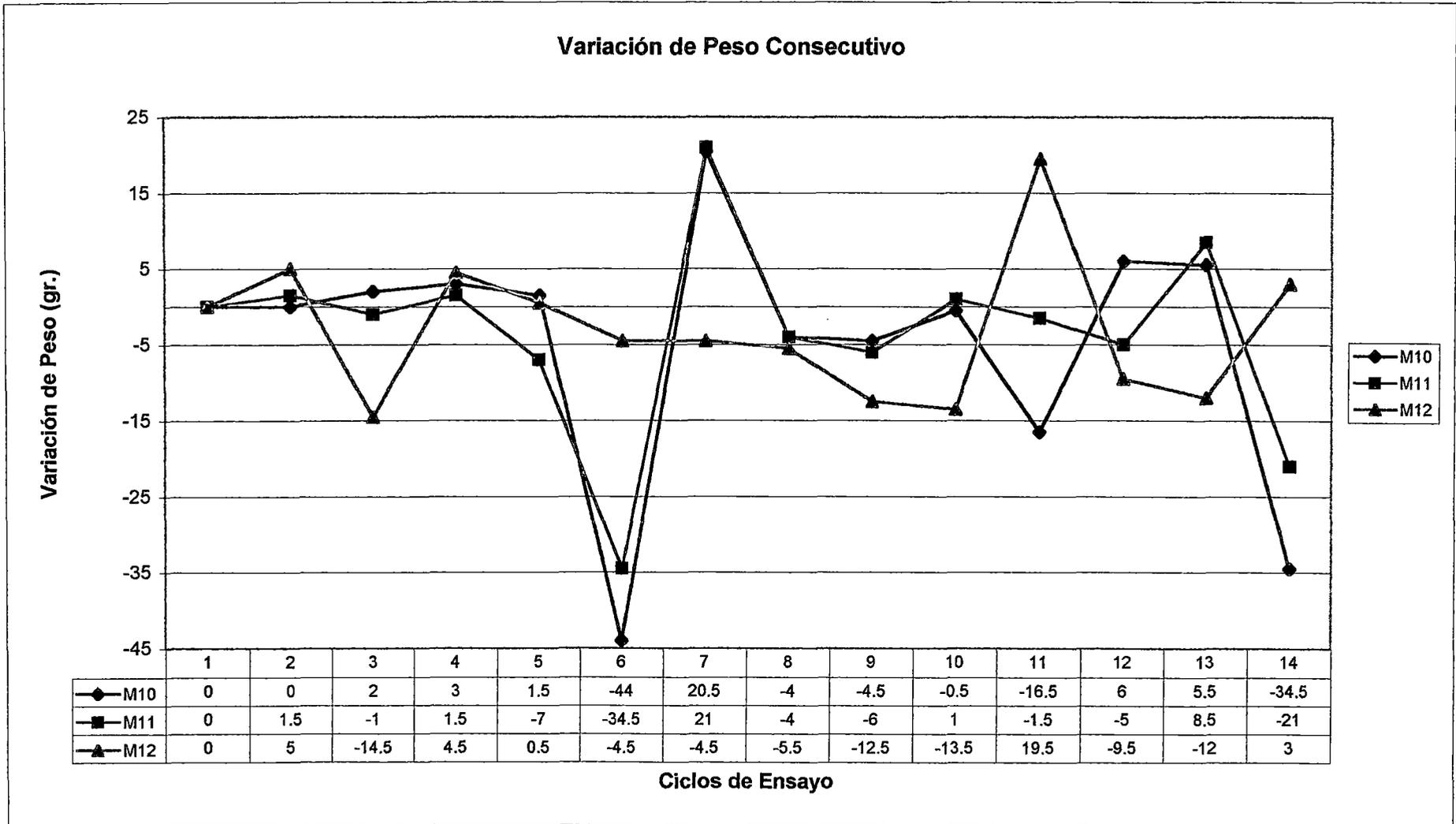


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.45

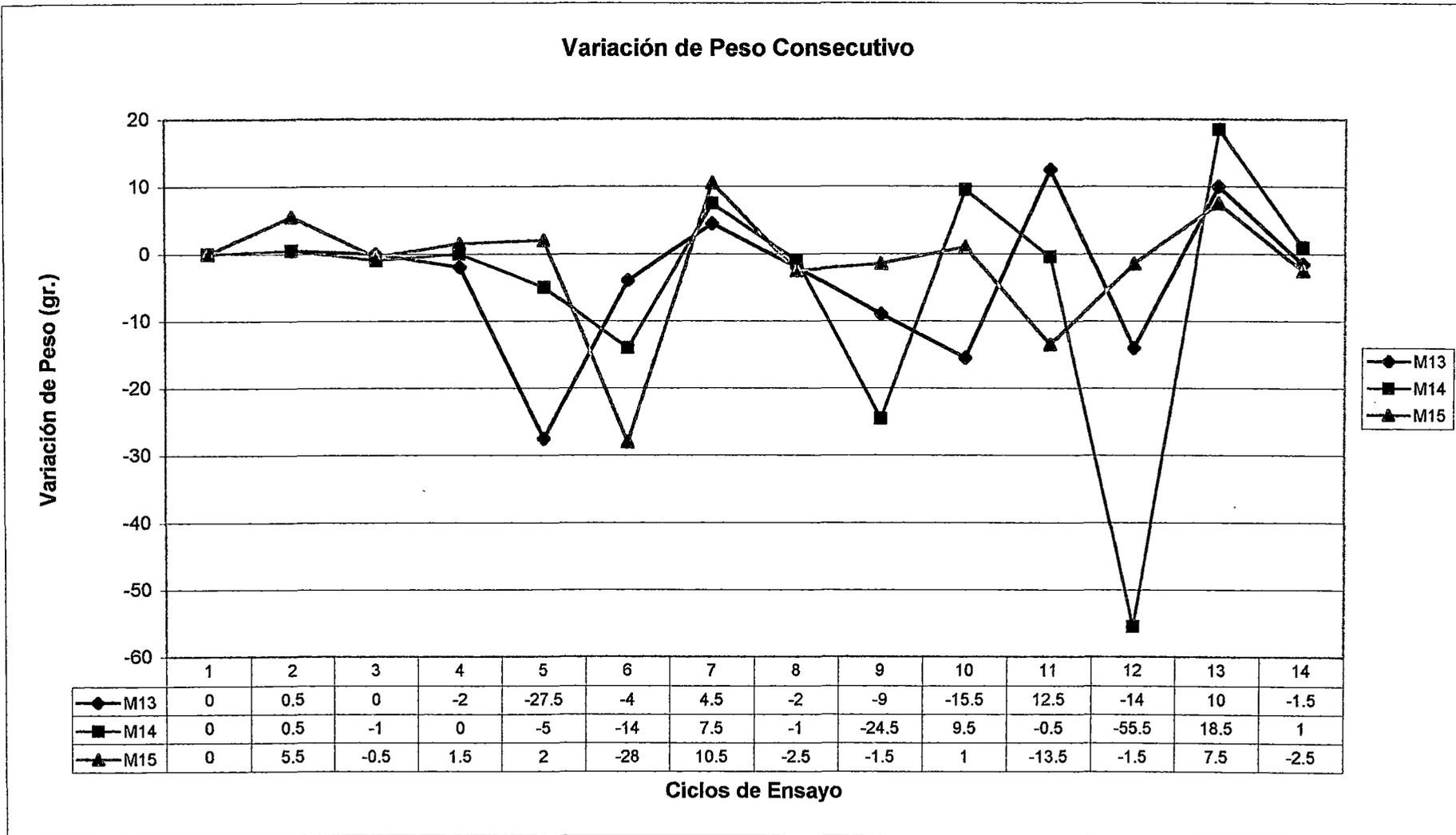


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.46

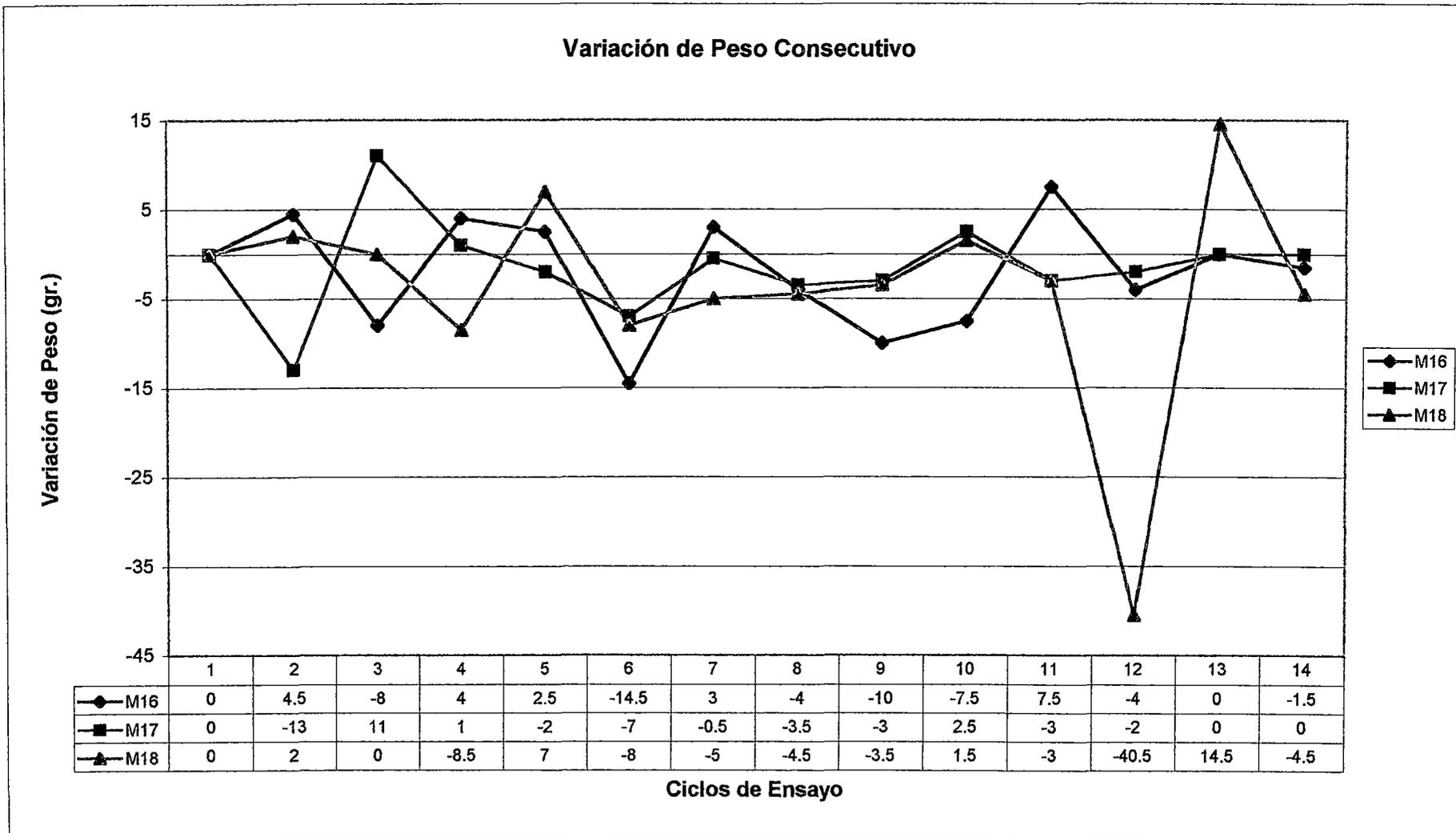


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.47

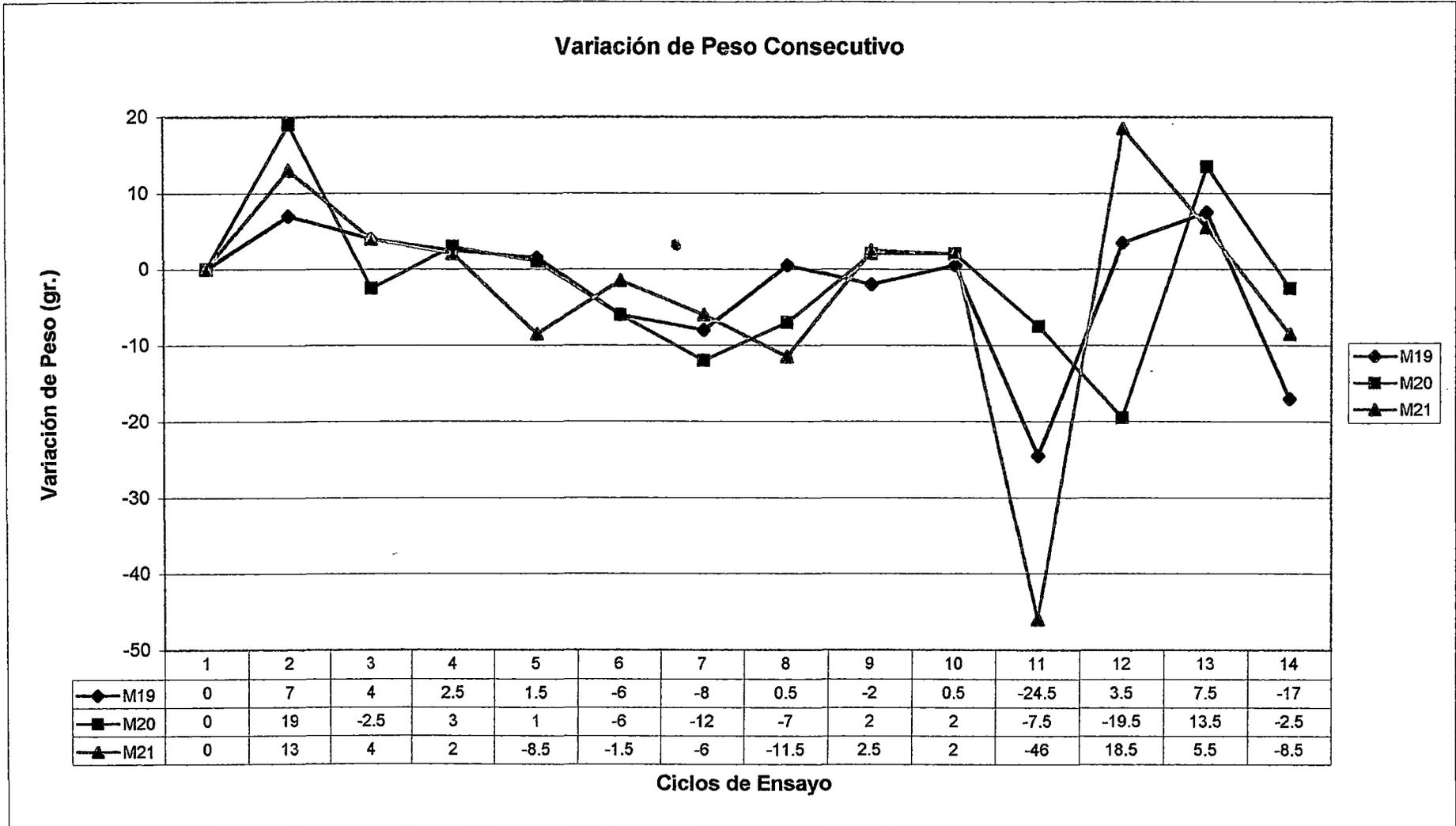


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.48

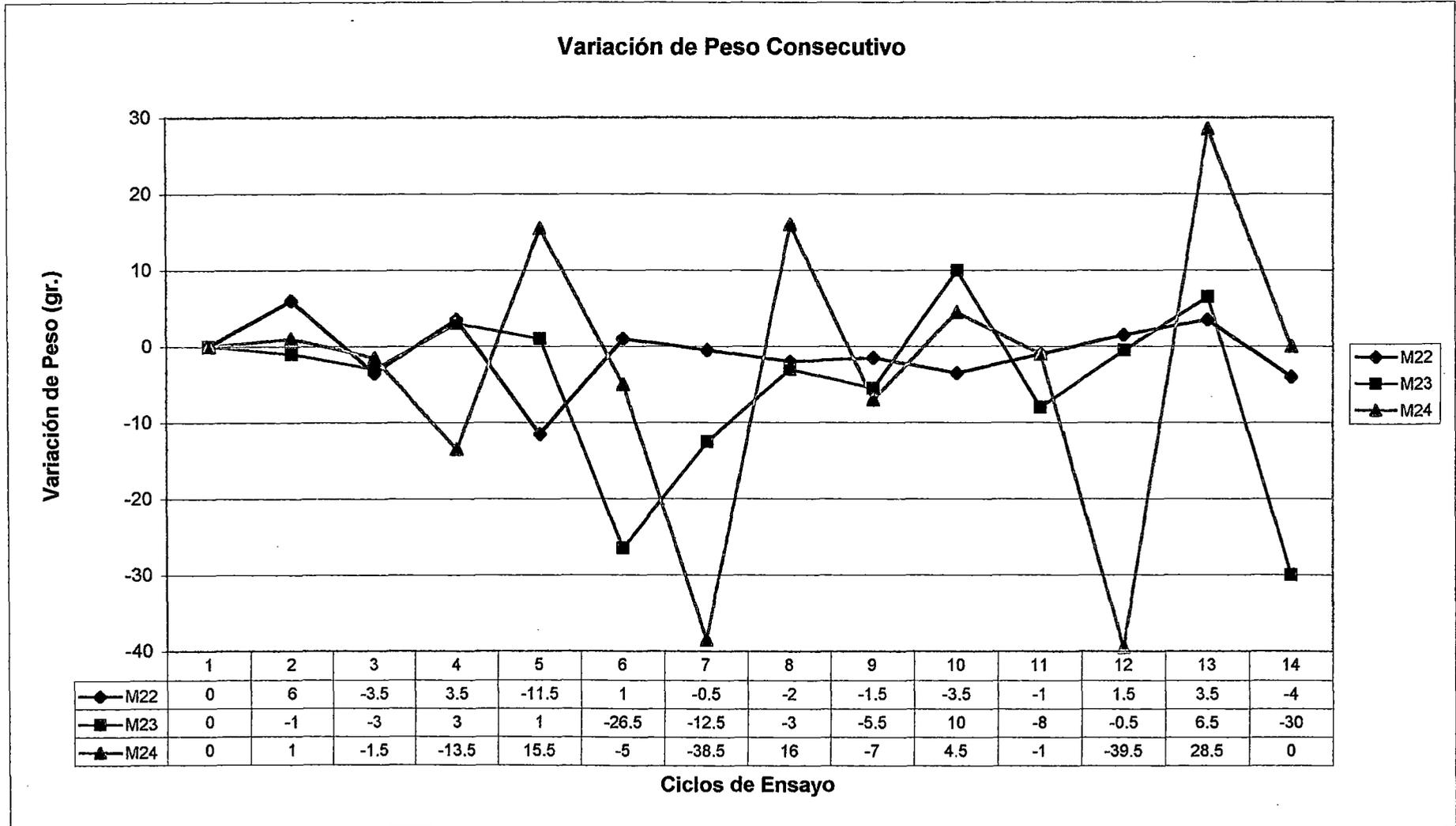


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
AGUA 0.65

Gráfico 7.1.49

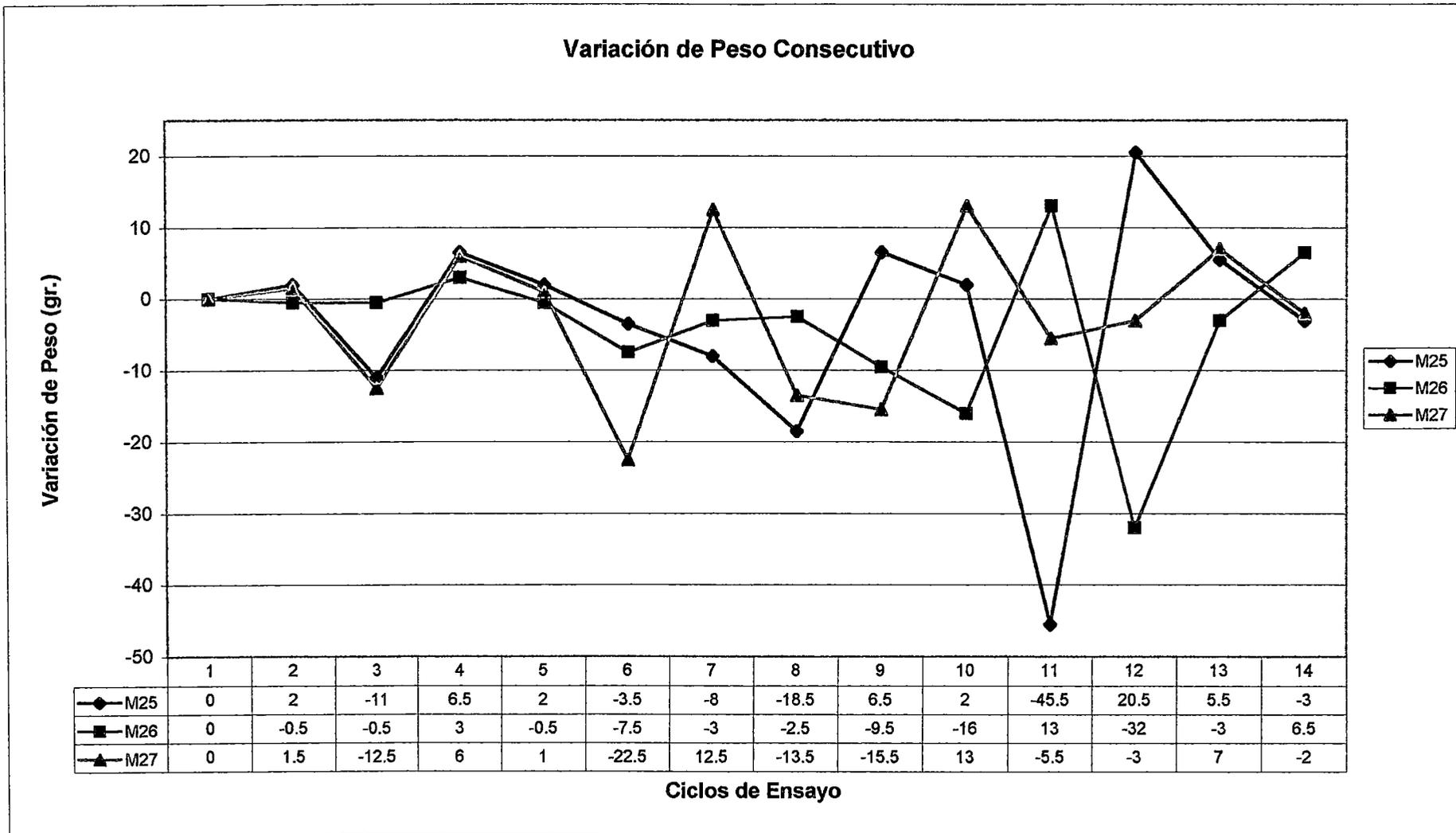


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.50



Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL

SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt

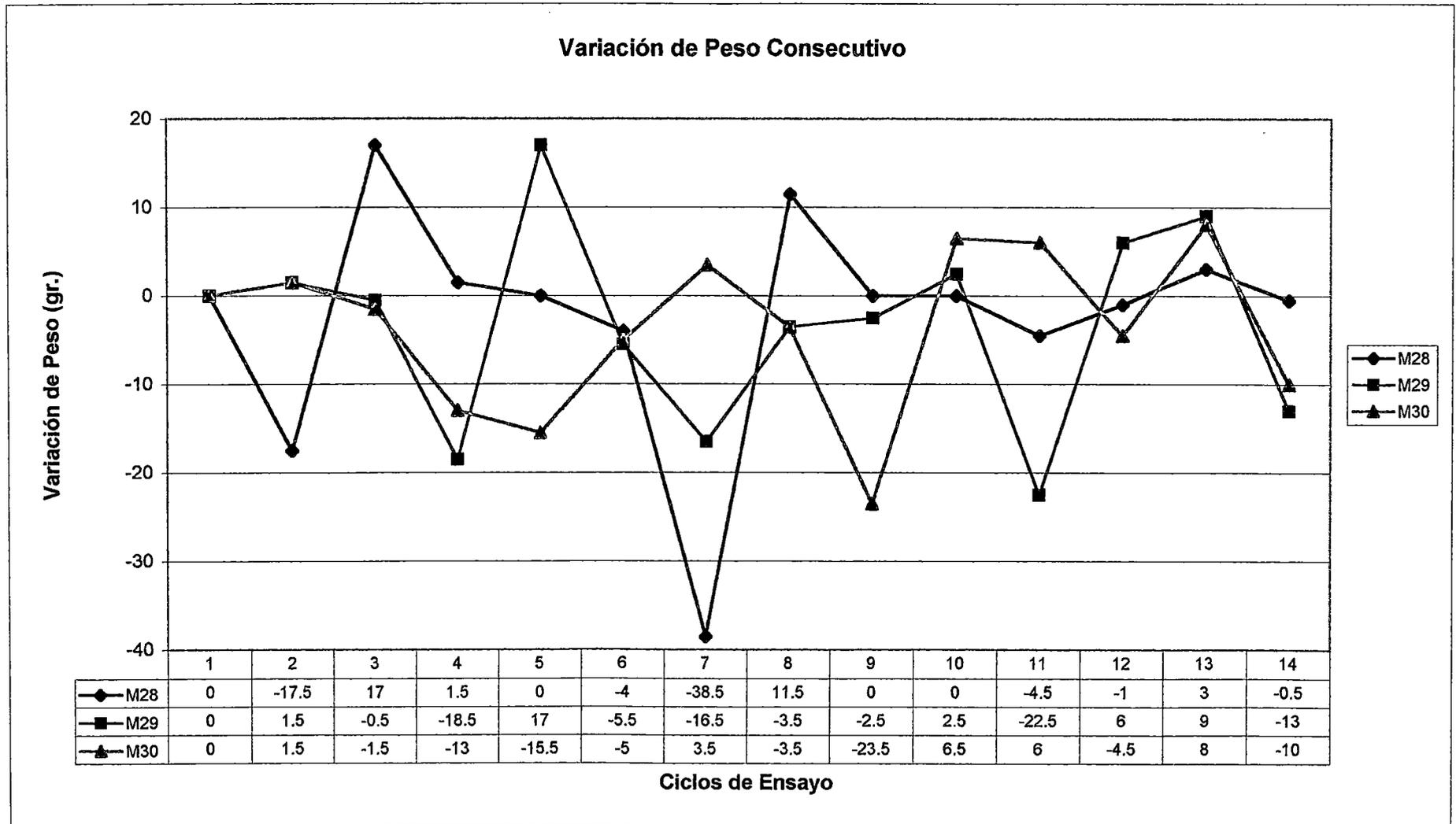
PROBETAS: 28 AL 30

PROBETAS : 4x8"

DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1

AGUA 0.65

Gráfico 7.1.51

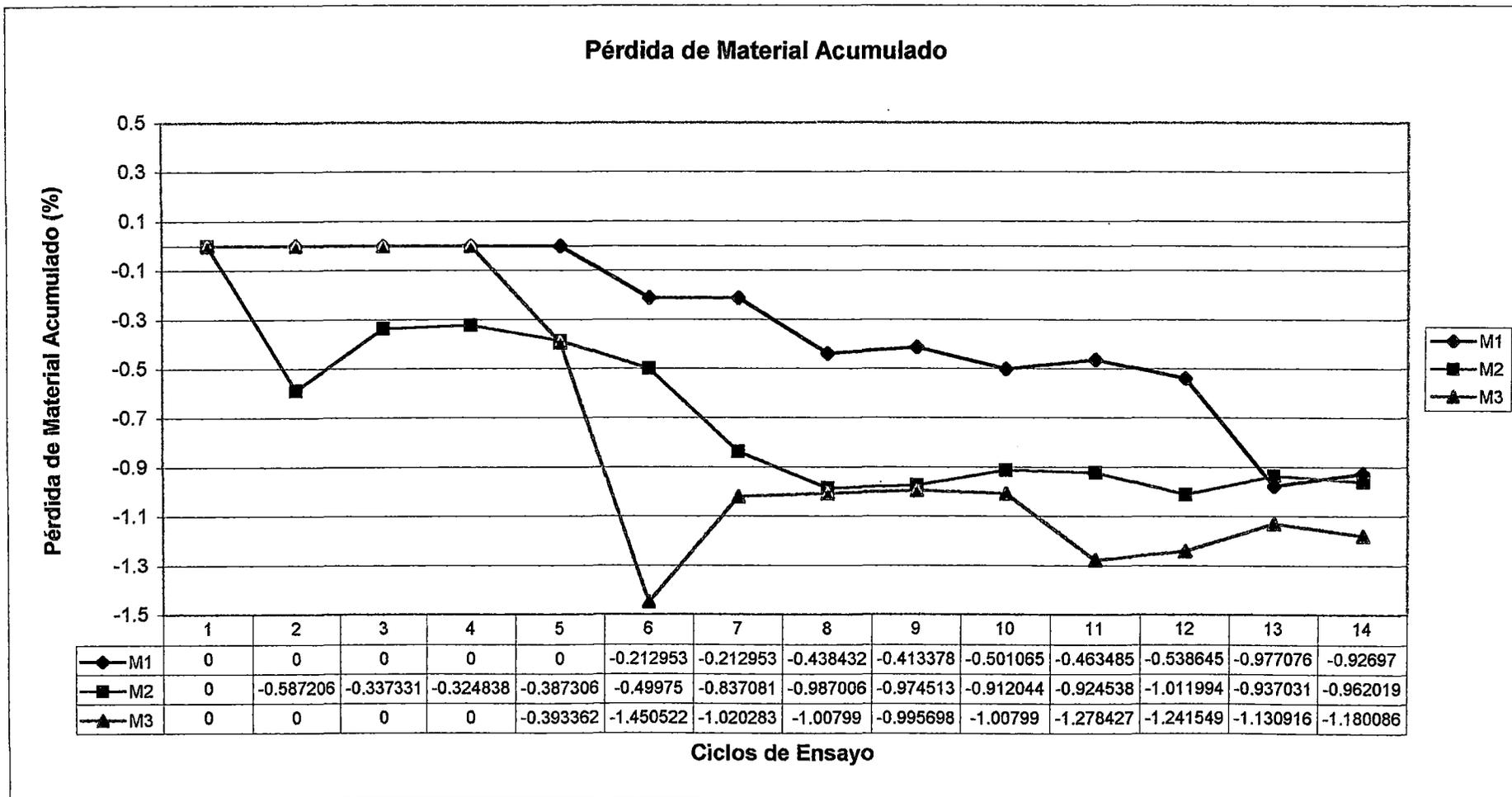


PERDIDA DE MATERIAL ACUMULADO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.52

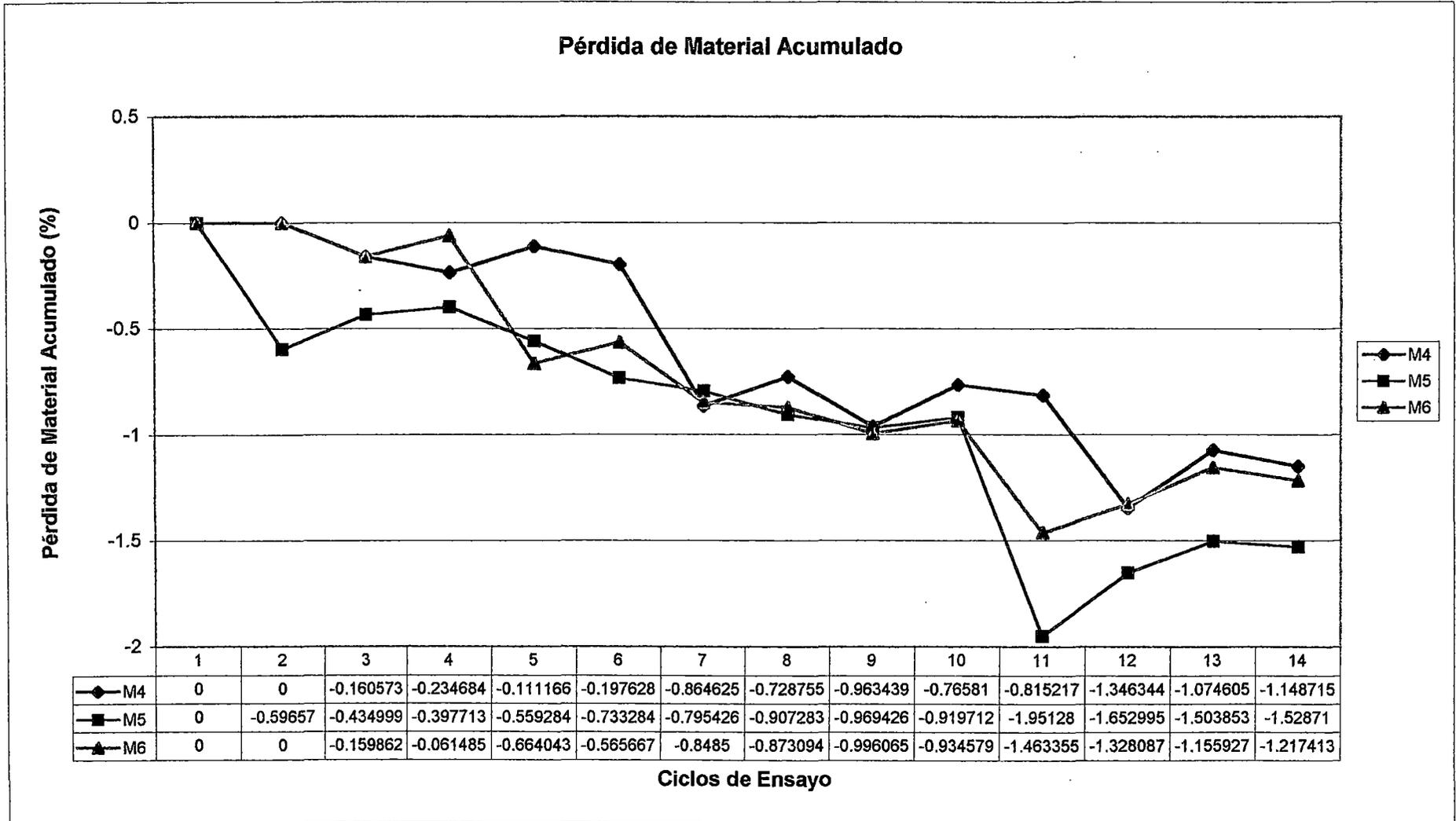


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.53

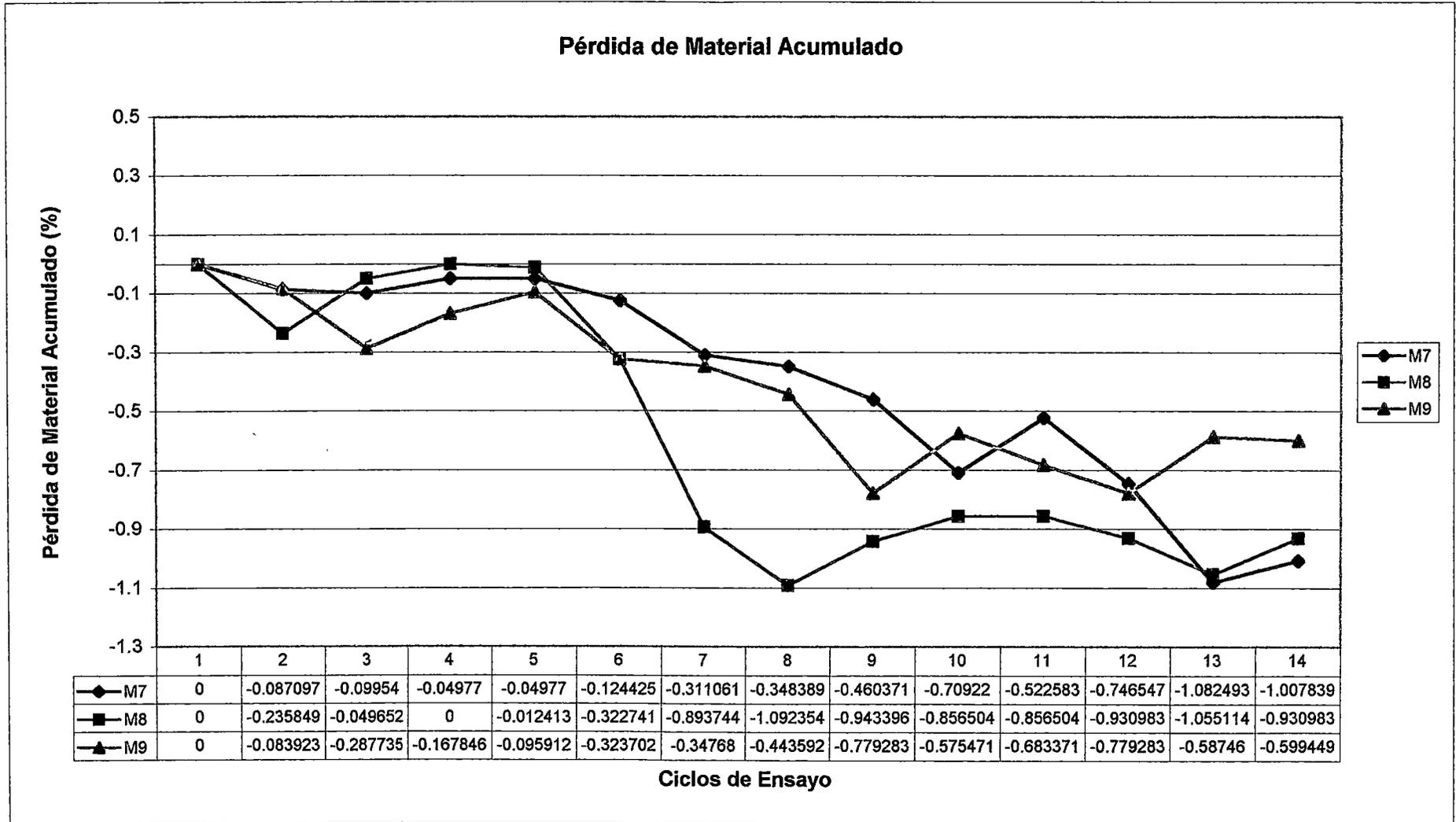


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.54

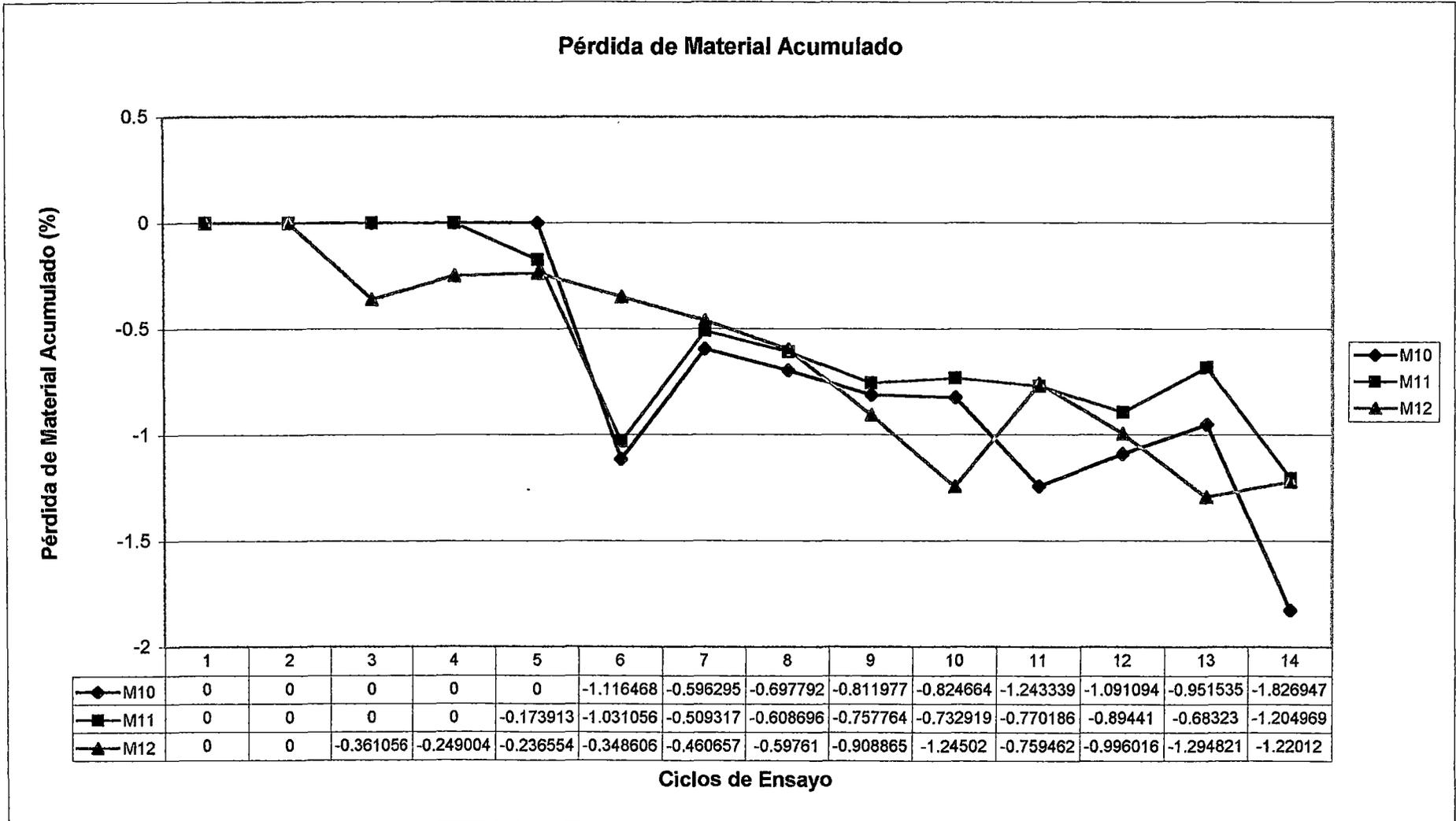


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.55

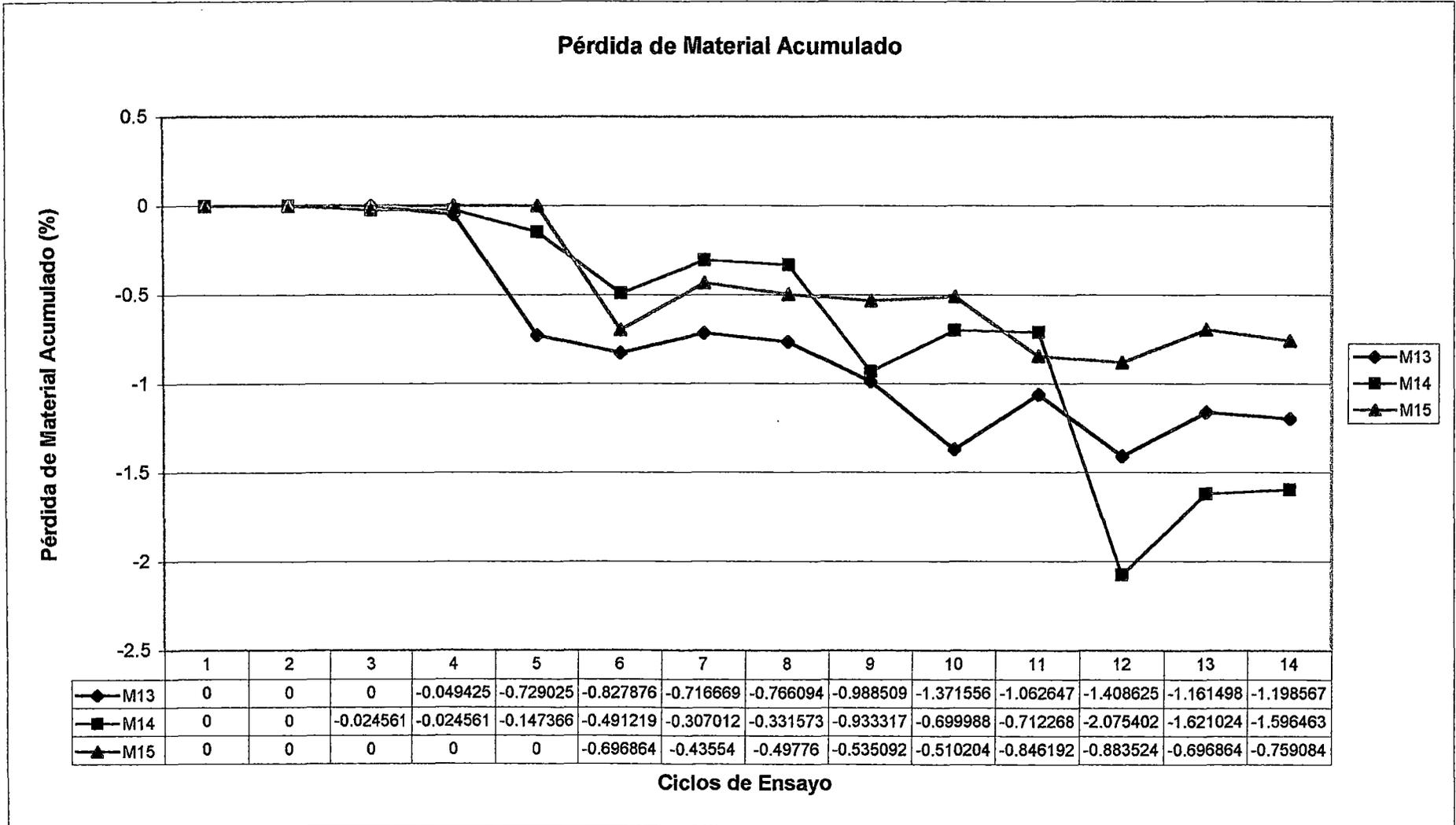


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.56

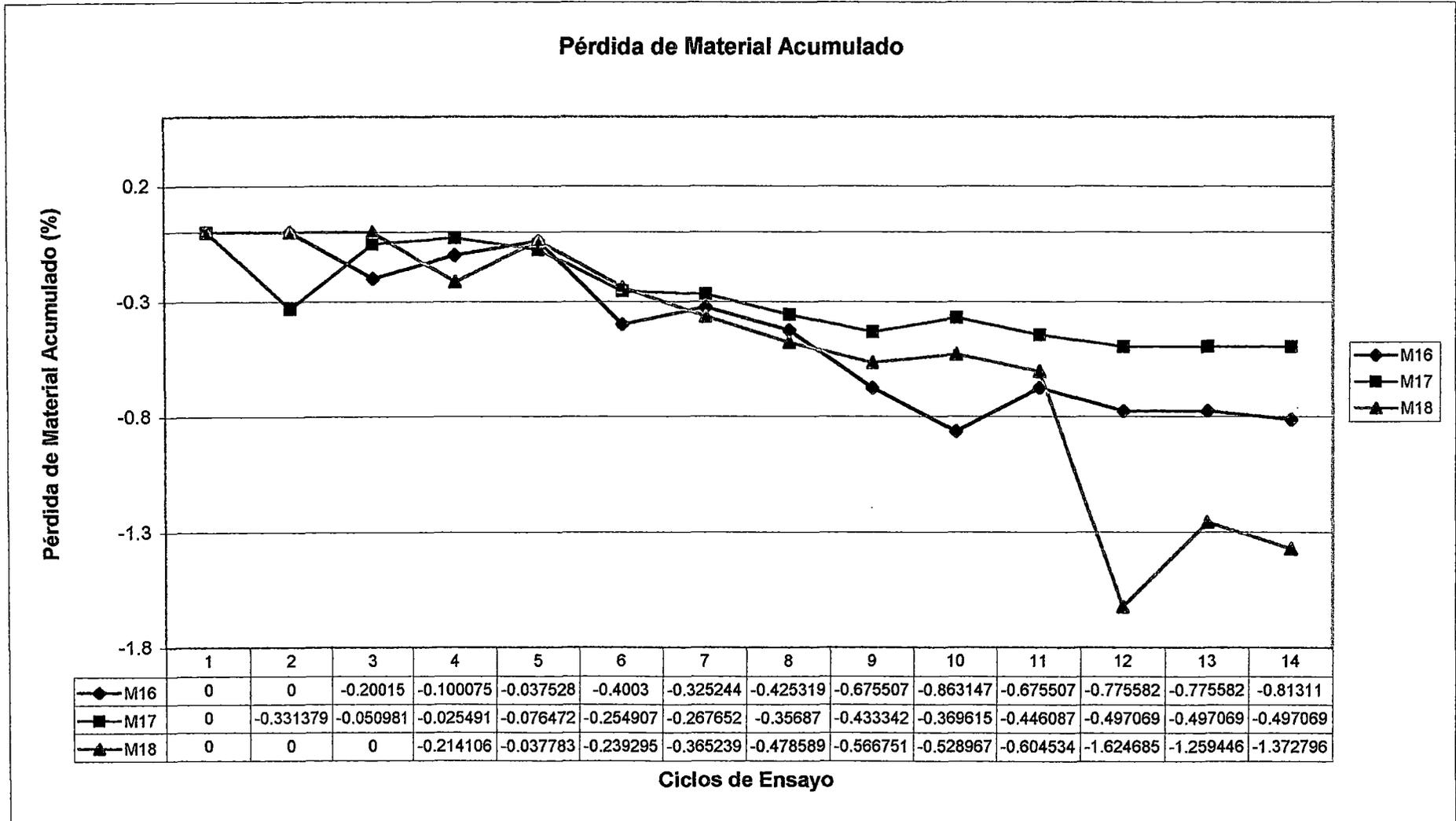


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.57

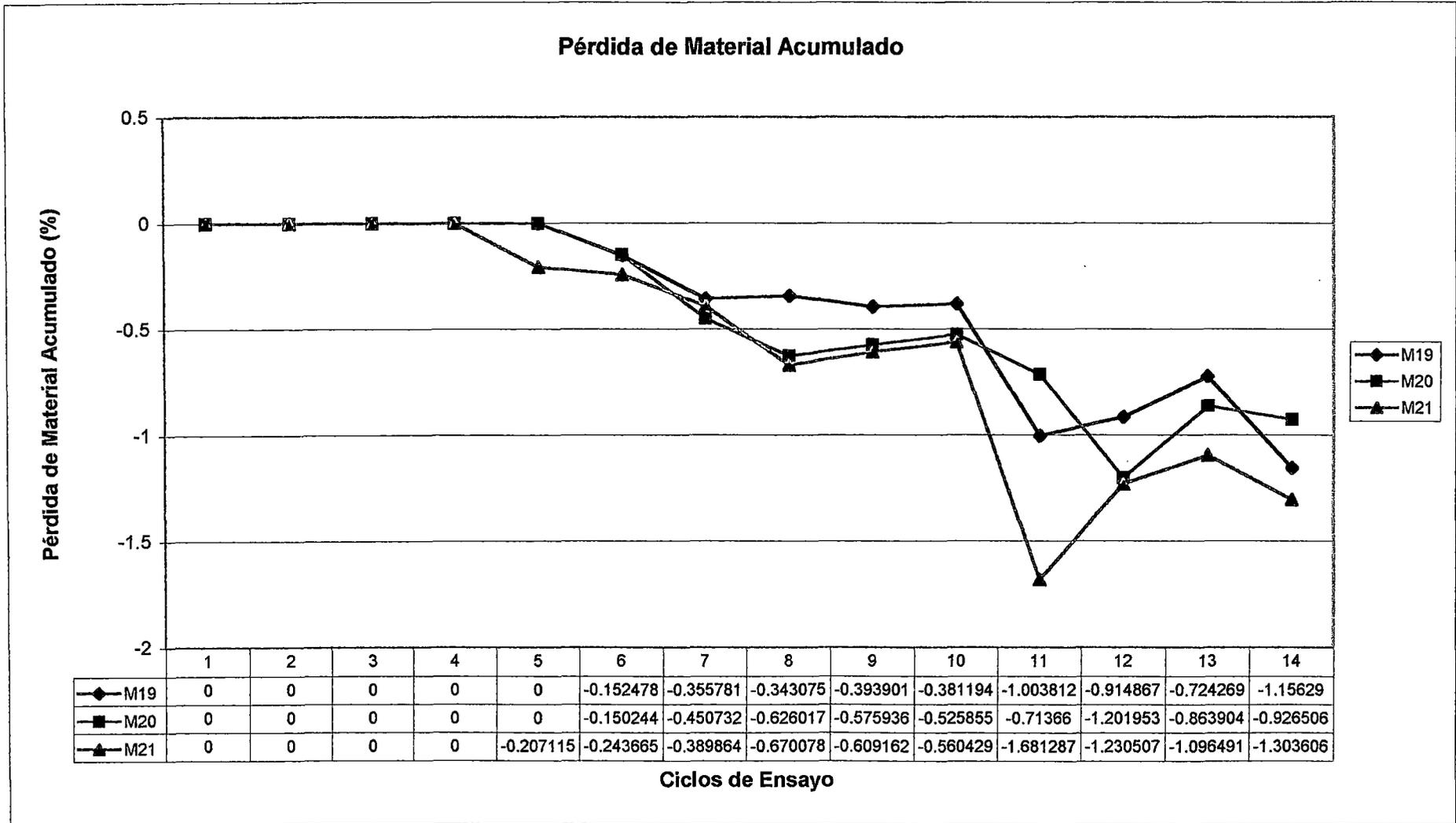


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.58

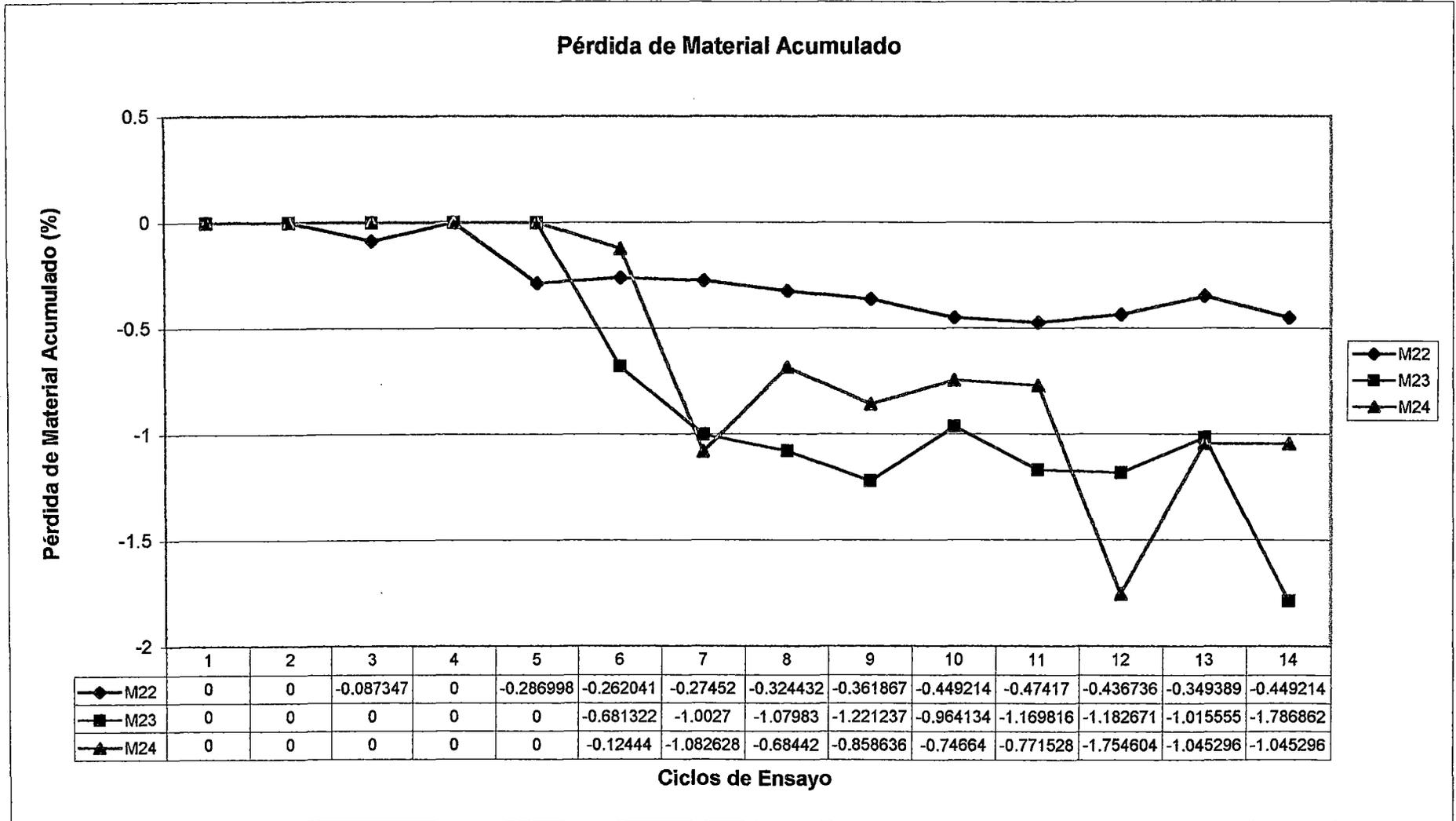


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.59

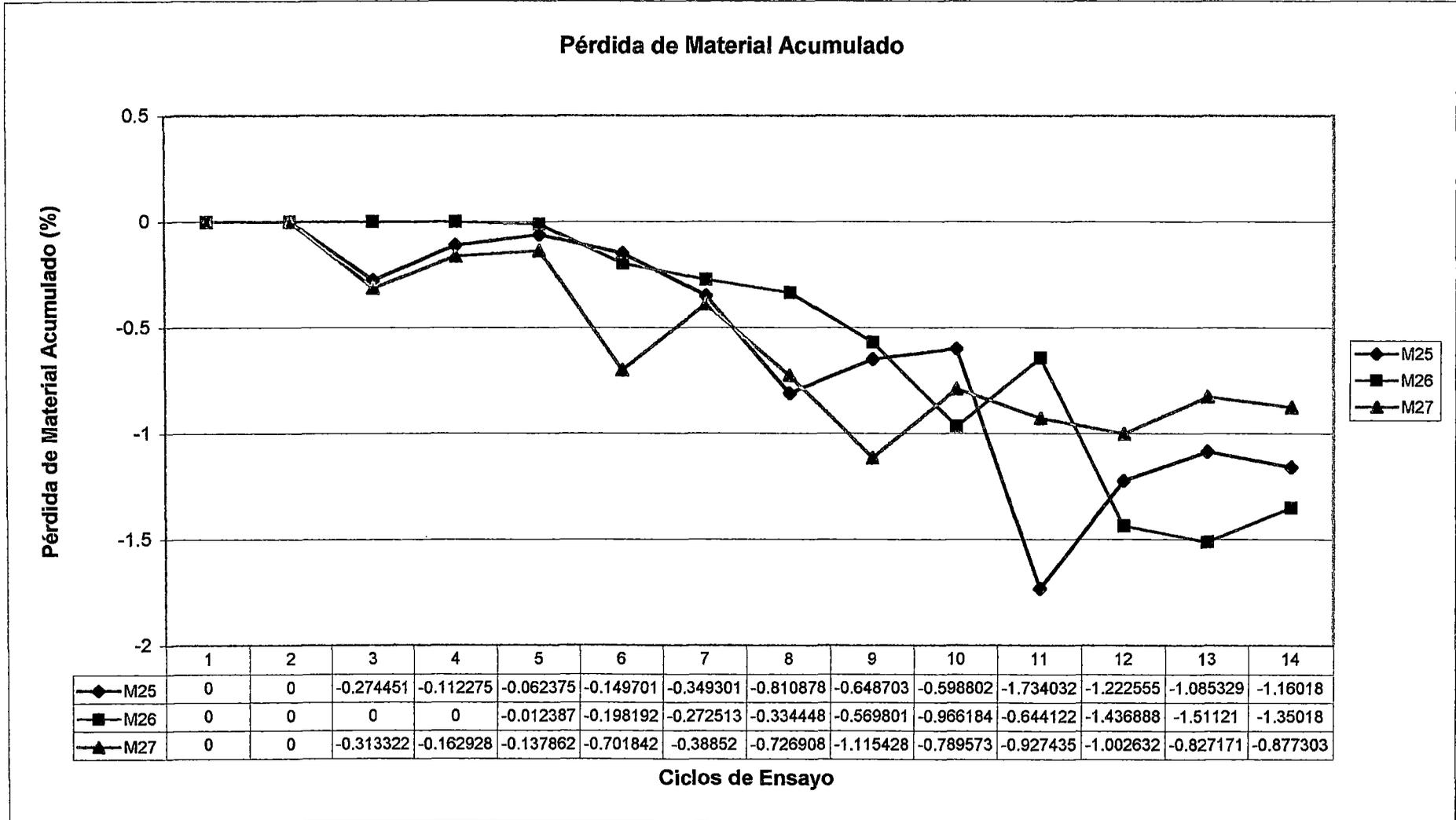


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.60

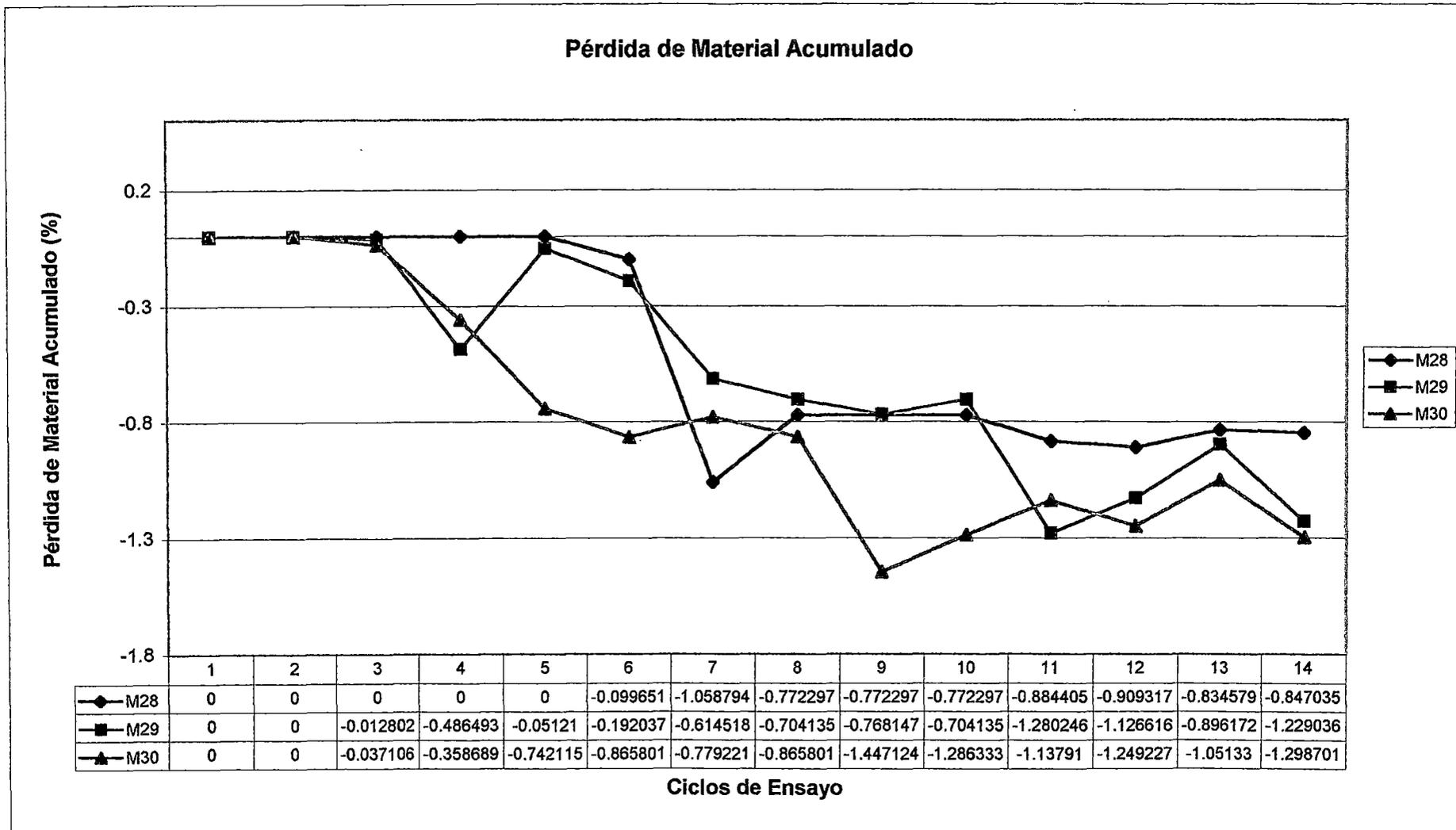


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.61

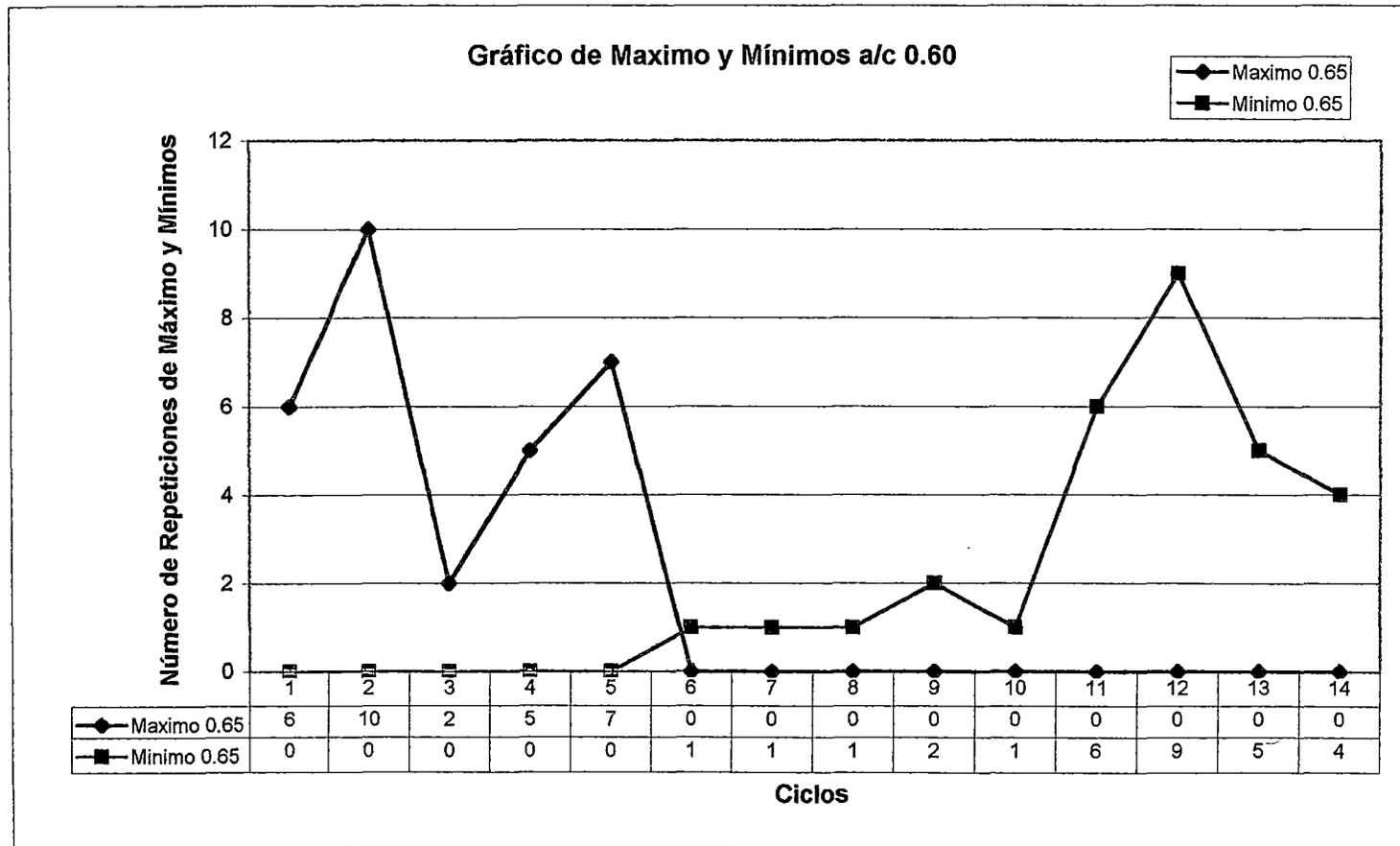


NUMERO DE FRECUENCIAS DE MAXIMOS Y MINIMOS

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Gráfico 7.1.62



7.2.4.5 Relación de Cuadros

Relación agua/cemento 0.70

- Cuadro 7.1.23: Cuadro de Ensayos de Durabilidad.
- Cuadro 7.1.24 al 7.1.26: Cuadro Resumen de Variación de Pesos Acumulados.
- Cuadro 7.1.27 al 7.1.29: Cuadro Resumen de Variación de Pesos Consecutivos.
- Cuadro 7.1.30 al 7.1.32: Cuadro Perdida de Material Acumulado.
- Cuadro 7.1.33: Cuadro Máximos y Mínimos.

ENSAYOS DE DURABILIDAD

A. ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CICLOS DE ENSAYO DE HUMEDECIDO, SECADO Y PERDIDA DE PESO

Cuadro 7.1.23

RELACION a/c 0.70

MUESTRAS	CICLOS DE ENSAYO / PERDIDA DE PESO (gr.)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
M1	4040.5	4045.0	4003.5	4007.5	4001.5	4019.5	4015.0	4002.0	4012.5	4009.0	3945.5	3972.5	3975.0	3977.5
M2	4086.0	4087.0	4014.0	4031.0	4044.5	4040.5	4026.0	4024.5	4038.5	4012.0	4007.5	4013.5	4025.0	3995.5
M3	4119.5	4078.0	4075.5	4076.5	4074.0	4090.5	4084.0	4062.0	4066.0	4066.5	4053.0	4065.0	4064.5	4069.0
M4	4044.0	4053.0	4028.5	4031.5	4033.5	4048.5	4036.5	4004.5	4032.5	4028.0	4010.0	3998.0	4014.0	3972.0
M5	4013.0	4020.5	3993.5	4011.5	4007.5	4014.5	3992.5	3995.0	4001.5	3987.5	3977.0	3954.5	3973.0	3975.5
M6	4052.5	4050.5	4041.0	4043.5	4042.5	4035.0	4009.5	4007.5	3991.5	3981.5	3961.5	3972.5	3979.5	3963.5
M7	3936.5	3932.5	3918.0	3931.5	3918.0	3932.0	3906.5	3907.0	3917.0	3908.0	3878.0	3890.0	3898.5	3878.5
M8	4008.5	4045.0	3992.0	4021.0	4018.0	4009.0	3993.5	4001.0	4012.5	3997.5	3989.5	4004.0	4011.5	4004.0
M9	4012.0	4012.5	4003.0	4004.0	3993.5	4002.5	3993.5	3974.0	3971.0	3974.5	3947.5	3964.5	3964.0	3931.5
M10	3977.5	3992.0	3919.5	3953.0	3953.5	3947.5	3944.0	3888.5	3924.0	3910.0	3898.5	3911.0	3919.0	3915.5
M11	3996.5	4042.0	4035.5	4028.5	4028.0	4019.0	4027.0	4016.0	4030.0	4017.0	4000.5	4009.0	4020.0	4021.5
M12	4063.0	4012.5	4025.5	4024.0	4024.5	4023.5	4018.5	3988.0	4005.5	4001.5	3983.0	3980.0	3987.5	3988.0
M13	3957.5	3941.0	3919.5	3923.5	3925.0	3904.0	3912.0	3895.5	3912.5	3911.5	3886.5	3900.0	3897.5	3902.5
M14	3992.5	4012.0	4006.5	3989.0	3993.0	3992.5	3994.0	3984.5	3995.5	3993.5	3969.0	3987.5	3988.0	3975.0
M15	4015.0	4063.0	4051.5	4044.0	4048.5	4042.5	4008.0	4019.5	4013.5	4013.5	3963.0	3985.0	3987.0	3990.5
M16	4042.0	4020.0	4025.0	4006.0	4020.5	4018.5	4006.0	3945.0	3976.0	3977.0	3953.0	3961.5	3974.5	3976.0
M17	3928.0	3929.0	3917.0	3906.0	3904.5	3905.5	3906.5	3884.5	3898.0	3890.5	3865.0	3871.0	3853.0	3869.0
M18	4040.5	4025.5	4039.0	4031.0	4030.0	4030.0	4031.0	4010.0	4016.5	4013.5	3967.5	3960.0	3977.5	3980.5
M19	4008.0	3986.0	3977.5	3969.0	3973.5	3987.5	3969.0	3970.0	3979.5	3976.5	3955.0	3967.5	3963.5	3964.5
M20	3906.5	3904.0	3913.5	3901.5	3902.0	3903.0	3894.0	3887.0	3891.5	3886.5	3877.5	3885.5	3882.0	3884.5
M21	4032.0	4024.5	4012.0	4012.0	4019.0	4014.0	4008.5	3997.0	3979.0	3980.0	3916.5	3951.5	3961.0	3961.5
M22	3990.0	3996.5	3989.0	3977.0	3971.5	3949.5	3946.5	3936.0	3952.0	3949.5	3934.0	3934.5	3943.0	3944.5
M23	4279.0	4247.0	4250.5	4257.0	4257.0	4247.0	4244.5	4237.0	4244.5	4225.5	4194.5	4216.0	4224.5	4223.5
M24	4012.0	4015.5	4002.5	3999.5	3998.0	3983.5	3950.5	3957.5	3959.5	3957.0	3917.0	3941.0	3943.0	3946.0
M25	4144.0	4152.0	4143.0	4103.0	4109.5	4111.5	4107.0	4079.0	4098.0	4098.5	4072.0	4058.5	4082.5	4081.0
M26	3808.5	3856.0	3847.0	3826.5	3828.5	3828.5	3813.0	3813.0	3831.0	3818.0	3805.0	3820.5	3808.5	3818.5
M27	3962.5	3939.0	3953.0	3954.5	3942.0	3956.5	3947.0	3904.0	3935.5	3931.0	3870.0	3897.0	3905.5	3907.0
M28	4026.0	4056.5	4005.0	4035.5	4032.0	4000.0	4002.5	3996.5	4001.0	4002.5	3983.5	3998.5	4005.5	4003.0
M29	3974.5	3931.0	3941.5	3928.0	3939.5	3937.5	3941.0	3901.5	3921.5	3922.5	3902.5	3919.5	3926.0	3892.5
M30	3881.5	3922.0	3905.5	3906.0	3869.5	3895.5	3885.0	3861.5	3869.0	3869.5	3830.5	3860.0	3868.0	3869.5
M31	3898.5	3943.5	3929.0	3926.0	3922.0	3915.0	3921.0	3910.5	3911.5	3914.0	3878.0	3885.5	3894.5	3898.0

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.24

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.11	0.02	-1.01	0.22	0.19	-0.05	-0.10	0.90	0.01	0.36
3	-0.91	-1.76	-1.07	-0.38	-0.49	-0.28	-0.47	-0.41	-0.22	-1.45
4	-0.82	-1.35	-1.04	-0.31	-0.04	-0.22	-0.13	0.31	-0.20	-0.61
5	-0.96	-1.02	-1.10	-0.26	-0.14	-0.25	-0.47	0.23	-0.46	-0.60
6	-0.52	-1.11	-0.70	0.11	0.04	-0.43	-0.11	0.01	-0.24	-0.75
7	-0.63	-1.47	-0.86	-0.19	-0.51	-1.06	-0.76	-0.37	-0.46	-0.84
8	-0.95	-1.50	-1.40	-0.97	-0.45	-1.11	-0.75	-0.19	-0.95	-2.23
9	-0.69	-1.16	-1.30	-0.28	-0.29	-1.51	-0.50	0.10	-1.02	-1.34
10	-0.78	-1.81	-1.29	-0.39	-0.63	-1.75	-0.72	-0.27	-0.93	-1.69
11	-2.35	-1.92	-1.61	-0.84	-0.90	-2.25	-1.49	-0.47	-1.61	-1.98
12	-1.68	-1.77	-1.32	-1.13	-1.46	-1.97	-1.18	-0.11	-1.18	-1.67
13	-1.62	-1.49	-1.34	-0.74	-0.99	-1.80	-0.97	0.07	-1.20	-1.47
14	-1.56	-2.21	-1.23	-1.78	-0.93	-2.20	-1.47	-0.11	-2.01	-1.55

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS ACUMULADO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.25

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.12	-1.24	-0.42	0.49	1.18	-0.54	0.03	-0.37	-0.55	-0.06
3	0.96	-0.92	-0.96	0.35	0.90	-0.42	-0.28	-0.04	-0.76	0.18
4	0.79	-0.96	-0.86	-0.09	0.71	-0.89	-0.56	-0.24	-0.97	-0.13
5	0.78	-0.95	-0.82	0.01	0.82	-0.53	-0.60	-0.26	-0.86	-0.11
6	0.56	-0.97	-1.35	0.00	0.68	-0.58	-0.57	-0.26	-0.51	-0.09
7	0.75	-1.10	-1.15	0.04	-0.17	-0.89	-0.55	-0.24	-0.97	-0.32
8	0.48	-1.85	-1.57	-0.20	0.11	-2.40	-1.11	-0.75	-0.95	-0.50
9	0.83	-1.42	-1.14	0.07	-0.04	-1.63	-0.76	-0.59	-0.71	-0.38
10	0.51	-1.51	-1.16	0.02	-0.04	-1.61	-0.95	-0.67	-0.79	-0.51
11	0.10	-1.97	-1.79	-0.59	-1.28	-2.20	-1.60	-1.81	-1.32	-0.74
12	0.31	-2.04	-1.45	-0.12	-0.74	-1.99	-1.45	-1.99	-1.01	-0.54
13	0.58	-1.86	-1.52	-0.11	-0.69	-1.67	-1.91	-1.56	-1.11	-0.63
14	0.62	-1.85	-1.39	-0.44	-0.60	-1.63	-1.50	-1.48	-1.09	-0.56

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRA 21 AL 31

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.26

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-0.19	0.16	-0.75	0.09	0.19	1.23	-0.59	0.75	-1.09	1.03	1.14
3	-0.50	-0.03	-0.67	-0.24	-0.02	1.00	-0.24	-0.52	-0.83	0.61	0.77
4	-0.50	-0.33	-0.51	-0.31	-0.99	0.47	-0.20	0.23	-1.17	0.62	0.70
5	-0.32	-0.46	-0.51	-0.35	-0.83	0.52	-0.52	0.15	-0.88	-0.31	0.60
6	-0.45	-1.01	-0.75	-0.71	-0.78	0.52	-0.15	-0.64	-0.93	0.36	0.42
7	-0.58	-1.09	-0.81	-1.53	-0.89	0.12	-0.39	-0.58	-0.84	0.09	0.57
8	-0.87	-1.35	-0.98	-1.36	-1.57	0.12	-1.48	-0.73	-1.84	-0.51	0.30
9	-1.31	-0.95	-0.81	-1.31	-1.11	0.58	-0.68	-0.62	-1.33	-0.32	0.33
10	-1.29	-1.01	-1.25	-1.37	-1.10	0.25	-0.79	-0.58	-1.31	-0.31	0.39
11	-2.86	-1.40	-1.97	-2.37	-1.73	-0.09	-2.33	-1.05	-1.81	-1.30	-0.52
12	-2.00	-1.39	-1.47	-1.77	-2.06	0.31	-1.65	-0.68	-1.38	-0.55	-0.33
13	-1.76	-1.18	-1.27	-1.72	-1.48	0.00	-1.44	-0.51	-1.22	-0.34	-0.10
14	-1.75	-1.14	-1.30	-1.64	-1.52	0.26	-1.40	-0.57	-2.06	-0.31	-0.01

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRA 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.27

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1										
2	4.5	1	-41.5	9	7.5	-2	-4	36.5	0.5	14.5
3	-41.5	-73	-2.5	-24.5	-27	-9.5	-14.5	-53	-9.5	-72.5
4	4	17	1	3	18	2.5	13.5	29	1	33.5
5	-6	13.5	-2.5	2	-4	-1	-13.5	-3	-10.5	0.5
6	18	-4	16.5	15	7	-7.5	14	-9	9	-6
7	-4.5	-14.5	-6.5	-12	-22	-25.5	-25.5	-15.5	-9	-3.5
8	-13	-1.5	-22	-32	2.5	-2	0.5	7.5	-19.5	-55.5
9	10.5	14	4	28	6.5	-16	10	11.5	-3	35.5
10	-3.5	-26.5	0.5	-4.5	-14	-10	-9	-15	3.5	-14
11	-63.5	-4.5	-13.5	-18	-10.5	-20	-30	-8	-27	-11.5
12	27	6	12	-12	-22.5	11	12	14.5	17	12.5
13	2.5	11.5	-0.5	16	18.5	7	8.5	7.5	-0.5	8
14	2.5	-29.5	4.5	-42	2.5	-16	-20	-7.5	-32.5	-3.5

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 MUESTRAS 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.28

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1										
2	45.5	-50.5	-16.5	19.5	48	-22	1	-15	-22	-2.5
3	-6.5	13	-21.5	-5.5	-11.5	5	-12	13.5	-8.5	9.5
4	-7	-1.5	4	-17.5	-7.5	-19	-11	-8	-8.5	-12
5	-0.5	0.5	1.5	4	4.5	14.5	-1.5	-1	4.5	0.5
6	-9	-1	-21	-0.5	-6	-2	1	0	14	1
7	8	-5	8	1.5	-34.5	-12.5	1	1	-18.5	-9
8	-11	-30.5	-16.5	-9.5	11.5	-61	-22	-21	1	-7
9	14	17.5	17	11	-6	31	13.5	6.5	9.5	4.5
10	-13	-4	-1	-2	0	1	-7.5	-3	-3	-5
11	-16.5	-18.5	-25	-24.5	-50.5	-24	-25.5	-46	-21.5	-9
12	8.5	-3	13.5	18.5	22	8.5	6	-7.5	12.5	8
13	11	7.5	-2.5	0.5	2	13	-18	17.5	-4	-3.5
14	1.5	0.5	5	-13	3.5	1.5	16	3	1	2.5

RESUMEN DE VARIACIÓN DE PESOS CONSECUTIVO (gr.)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.29

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31
1											
2	-7.5	6.5	-32	3.5	8	47.5	-23.5	30.5	-43.5	40.5	45
3	-12.5	-7.5	3.5	-13	-9	-9	14	-51.5	10.5	-16.5	-14.5
4	0	-12	6.5	-3	-40	-20.5	1.5	30.5	-13.5	0.5	-3
5	7	-5.5	0	-1.5	6.5	2	-12.5	-3.5	11.5	-36.5	-4
6	-5	-22	-10	-14.5	2	0	14.5	-32	-2	26	-7
7	-5.5	-3	-2.5	-33	-4.5	-15.5	-9.5	2.5	3.5	-10.5	6
8	-11.5	-10.5	-7.5	7	-28	0	-43	-6	-39.5	-23.5	-10.5
9	-18	16	7.5	2	19	18	31.5	4.5	20	7.5	1
10	1	-2.5	-19	-2.5	0.5	-13	-4.5	1.5	1	0.5	2.5
11	-63.5	-15.5	-31	-40	-26.5	-13	-61	-19	-20	-39	-36
12	35	0.5	21.5	24	-13.5	15.5	27	15	17	29.5	7.5
13	9.5	8.5	8.5	2	24	-12	8.5	7	6.5	8	9
14	0.5	1.5	-1	3	-1.5	10	1.5	-2.5	-33.5	1.5	3.5

PERDIDA DE MATERIAL ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENT PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓ MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTR. 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.30

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1										
2			-1.01			-0.05	-0.10			
3	-1.03	-1.79	-1.07	-0.60	-0.67	-0.28	-0.47	-1.31	-0.24	-1.82
4	-0.93	-1.37	-1.04	-0.53	-0.22	-0.22	-0.13	-0.59	-0.21	-0.98
5	-1.08	-1.04	-1.10	-0.48	-0.32	-0.25	-0.47	-0.67	-0.47	-0.96
6	-0.63	-1.14	-0.70	-0.11	-0.15	-0.43	-0.11	-0.89	-0.25	-1.11
7	-0.74	-1.49	-0.86	-0.41	-0.70	-1.06	-0.76	-1.27	-0.47	-1.20
8	-1.06	-1.53	-1.40	-1.20	-0.63	-1.11	-0.75	-1.09	-0.96	-2.59
9	-0.80	-1.19	-1.30	-0.51	-0.47	-1.51	-0.50	-0.80	-1.03	-1.70
10	-0.89	-1.84	-1.29	-0.62	-0.82	-1.75	-0.72	-1.17	-0.95	-2.05
11	-2.46	-1.95	-1.61	-1.06	-1.08	-2.25	-1.49	-1.37	-1.62	-2.34
12	-1.79	-1.80	-1.32	-1.36	-1.64	-1.97	-1.18	-1.01	-1.20	-2.03
13	-1.73	-1.52	-1.34	-0.96	-1.18	-1.80	-0.97	-0.83	-1.21	-1.83
14	-1.67	-2.24	-1.23	-2.00	-1.12	-2.20	-1.47	-1.01	-2.02	-1.92

PERDIDA DE MATERIAL ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.31

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1										
2		-1.24	-0.42			-0.54		-0.37	-0.55	
3	-0.16	-0.92	-0.96	-0.14	-0.28	-0.42	-0.31	-0.04	-0.76	
4	-0.33	-0.96	-0.86	-0.57	-0.47	-0.89	-0.59	-0.24	-0.97	-0.31
5	-0.35	-0.95	-0.82	-0.47	-0.36	-0.53	-0.62	-0.26	-0.86	-0.29
6	-0.57	-0.97	-1.35	-0.49	-0.50	-0.58	-0.60	-0.26	-0.51	-0.27
7	-0.37	-1.10	-1.15	-0.45	-1.35	-0.89	-0.57	-0.24	-0.97	-0.50
8	-0.64	-1.85	-1.57	-0.69	-1.07	-2.40	-1.13	-0.75	-0.95	-0.68
9	-0.30	-1.42	-1.14	-0.41	-1.22	-1.63	-0.79	-0.59	-0.71	-0.56
10	-0.62	-1.51	-1.16	-0.46	-1.22	-1.61	-0.98	-0.67	-0.79	-0.69
11	-1.03	-1.97	-1.79	-1.07	-2.46	-2.20	-1.63	-1.81	-1.32	-0.92
12	-0.82	-2.04	-1.45	-0.61	-1.92	-1.99	-1.48	-1.99	-1.01	-0.72
13	-0.54	-1.86	-1.52	-0.60	-1.87	-1.67	-1.93	-1.56	-1.11	-0.80
14	-0.51	-1.85	-1.39	-0.92	-1.78	-1.63	-1.53	-1.48	-1.09	-0.74

PERDIDA DE MATERIAL ACUMULADO (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓ MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS 21 AL 31

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.32

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31
1											
2	-0.19		-0.75				-0.59		-1.09		
3	-0.50	-0.19	-0.67	-0.32	-0.22	-0.23	-0.24	-1.27	-0.83	-0.42	-0.37
4	-0.50	-0.49	-0.51	-0.40	-1.18	-0.77	-0.20	-0.52	-1.17	-0.41	-0.44
5	-0.32	-0.63	-0.51	-0.44	-1.02	-0.71	-0.52	-0.60	-0.88	-1.34	-0.55
6	-0.45	-1.18	-0.75	-0.80	-0.98	-0.71	-0.15	-1.39	-0.93	-0.68	-0.72
7	-0.58	-1.25	-0.81	-1.62	-1.08	-1.12	-0.39	-1.33	-0.84	-0.94	-0.57
8	-0.87	-1.51	-0.98	-1.44	-1.76	-1.12	-1.48	-1.48	-1.84	-1.54	-0.84
9	-1.31	-1.11	-0.81	-1.39	-1.30	-0.65	-0.68	-1.37	-1.33	-1.35	-0.81
10	-1.29	-1.18	-1.25	-1.46	-1.29	-0.99	-0.79	-1.33	-1.31	-1.34	-0.75
11	-2.86	-1.56	-1.97	-2.45	-1.93	-1.32	-2.33	-1.80	-1.81	-2.33	-1.66
12	-2.00	-1.55	-1.47	-1.86	-2.25	-0.92	-1.65	-1.43	-1.38	-1.58	-1.47
13	-1.76	-1.34	-1.27	-1.81	-1.67	-1.23	-1.44	-1.26	-1.22	-1.38	-1.24
14	-1.75	-1.30	-1.30	-1.73	-1.71	-0.97	-1.40	-1.32	-2.06	-1.34	-1.15

MAXIMO Y MINIMOS

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro 7.1.33

MUESTRA	MAXIMO (gr)	CICLO	MINIMO (gr)	CICLO	MUESTRA	MAXIMO (gr)	CICLO	MINIMO (gr)	CICLO
M1	4045.0	2	3945.5	11	M17	3929.0	2	3853.0	13
M2	4087.0	2	3995.5	14	M18	4040.5	1	3960.0	12
M3	4119.5	1	4053.0	11	M19	4008.0	1	3955.0	11
M4	4053.0	2	3972.0	14	M20	3913.5	3	3877.5	11
M5	4020.5	2	3954.5	12	M21	4032.0	1	3916.5	11
M6	4052.5	1	3961.5	11	M22	3996.5	2	3934.0	11
M7	3936.5	1	3878.0	11	M23	4279.0	1	4194.5	11
M8	4045.0	2	3989.5	11	M24	4015.5	2	3917.5	11
M9	4012.5	2	3931.5	14	M25	4152.0	2	4058.5	12
M10	4091.0	10	3888.5	8	M26	3856.0	2	3805.0	11
M11	4042.0	2	3996.5	1	M27	3962.5	1	3870.0	11
M12	4063.0	1	3980.0	12	M28	4056.5	2	3983.5	11
M13	3957.5	1	3886.5	11	M29	3974.5	1	3892.5	14
M14	4012.0	2	3969.0	11	M30	3922.0	2	3830.5	11
M15	4063.0	2	3963.0	11	M31	3943.5	2	3878.0	11
M16	4042.0	1	3945.0	8					

7.2.4.6 Relación de Gráficos

Relación agua-cemento 0.70

Gráfico 7.1.63 al 7.1.72: Gráfico Variación de Peso Acumulado

Gráfico 7.1.73 al 7.1.82: Gráfico Variación de Peso Consecutivo

Gráfico 7.1.83 al 7.1.92: Gráfico Pérdida de Material Acumulado

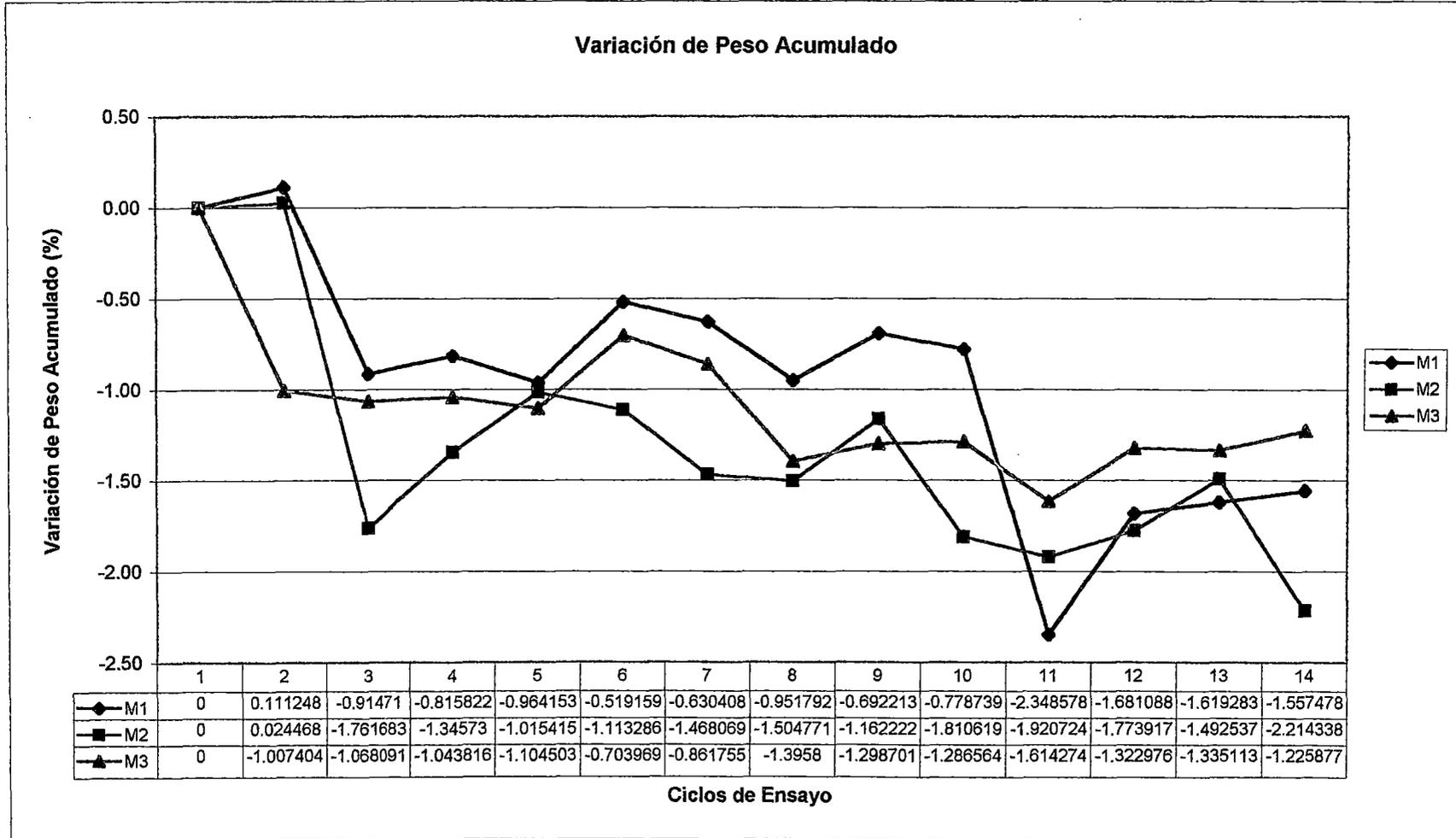
Gráfico 7.1.93: Gráficos Número de Frecuencias de Máximos y Mínimos.

VARIACION DE PESO ACUMULADO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

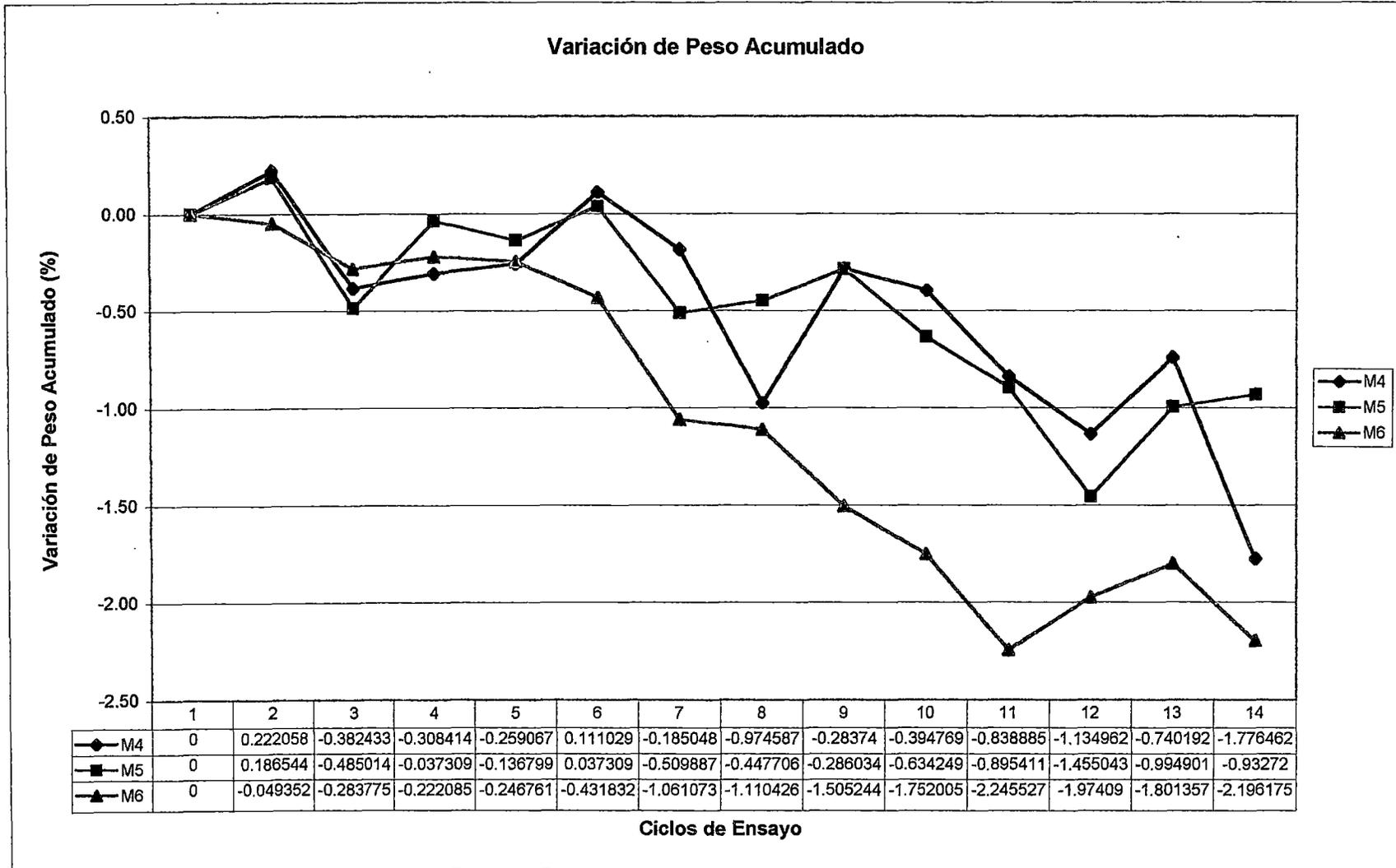
Gráfico 7.1.63



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

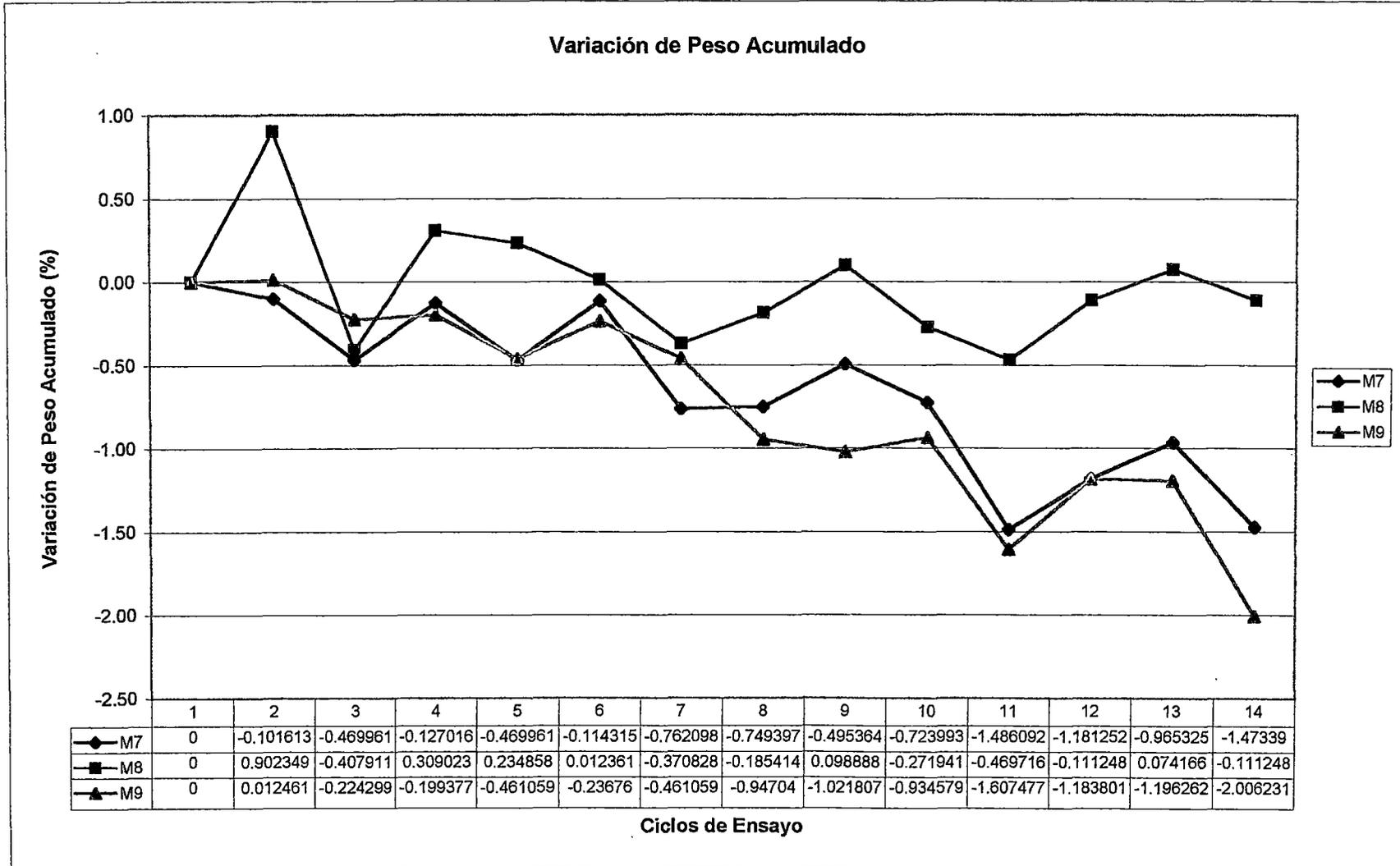
Gráfico 7.1.64



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

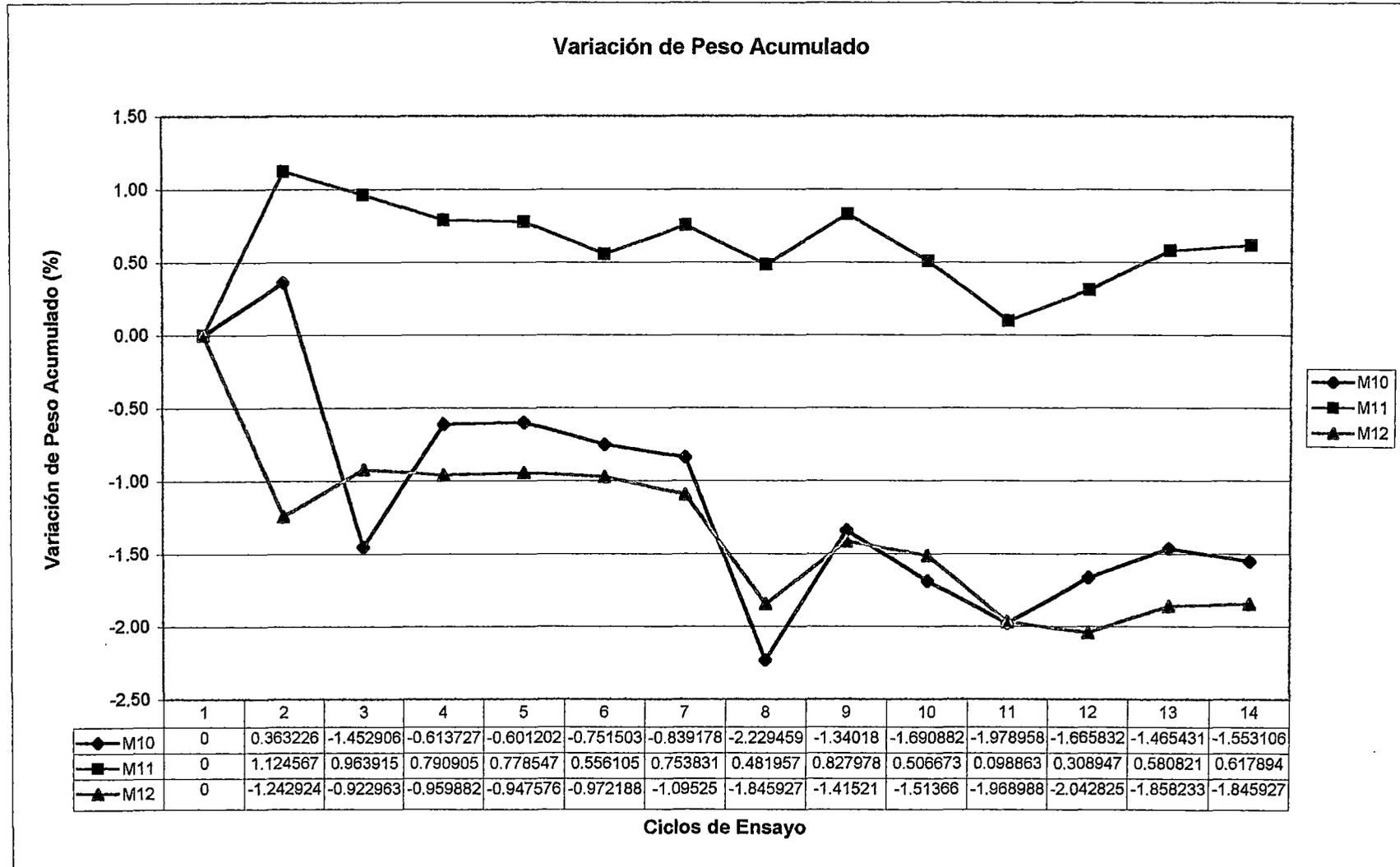
Gráfico 7.1.65



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

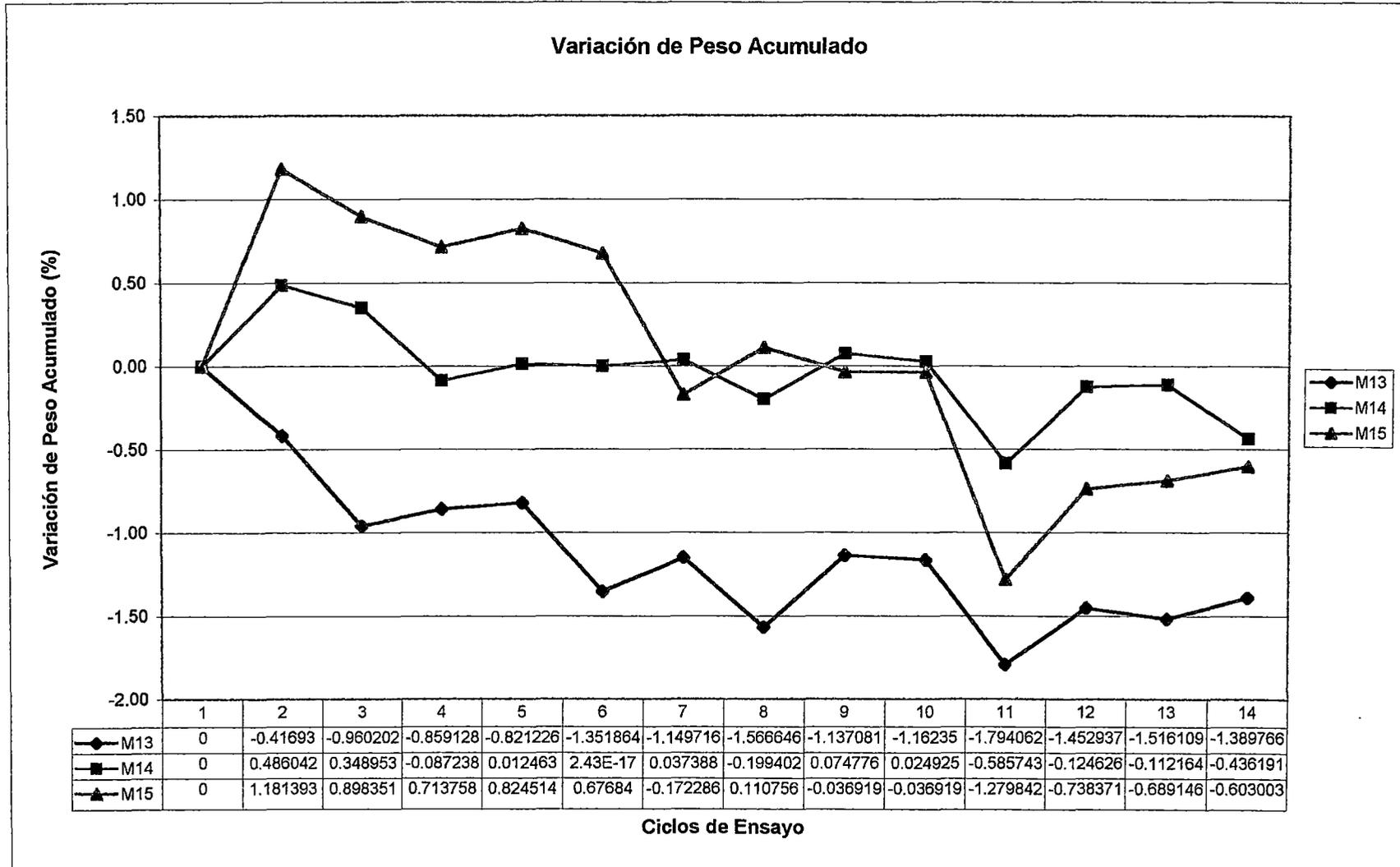
Gráfico 7.1.66



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

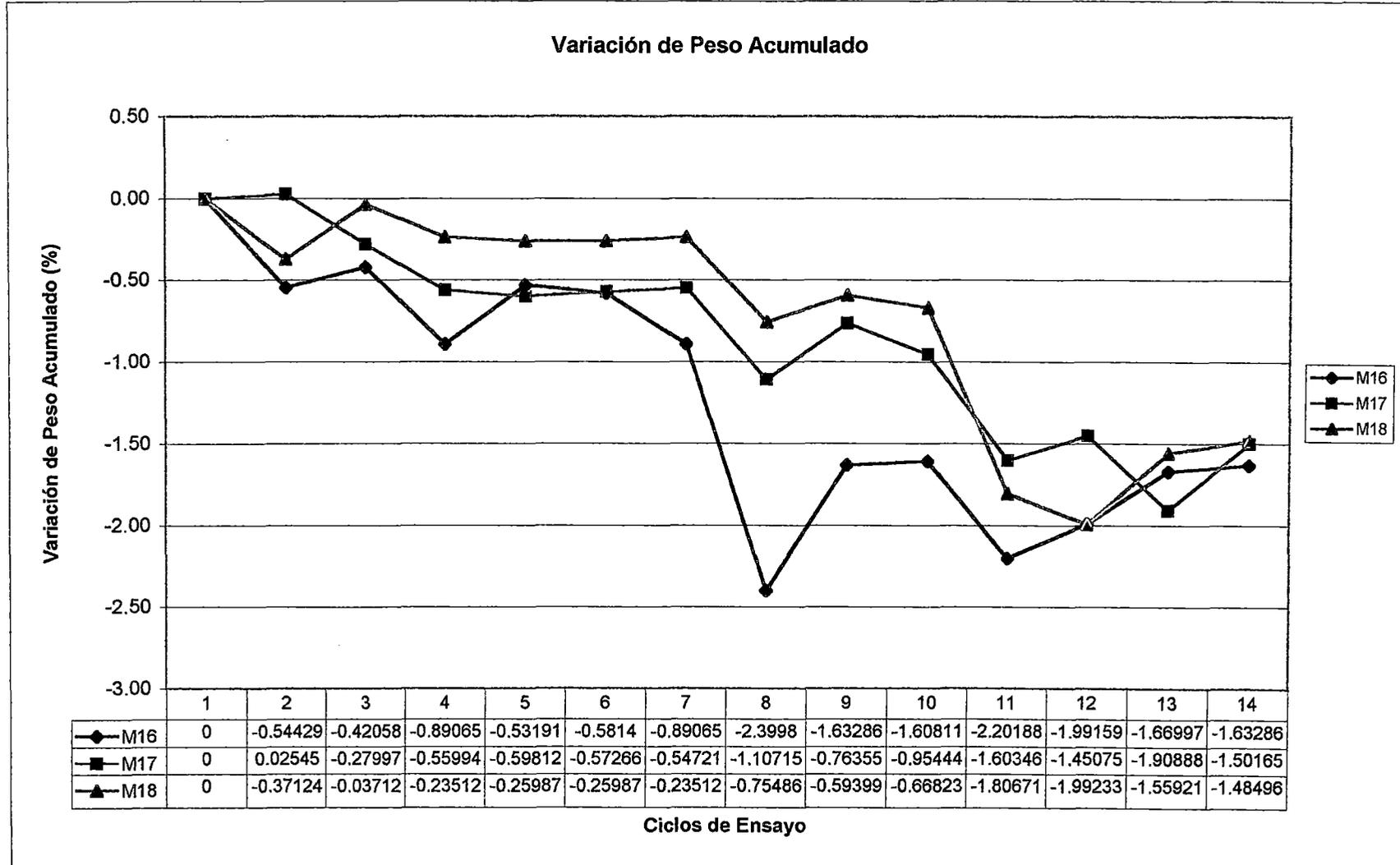
Gráfico 7.1.67



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

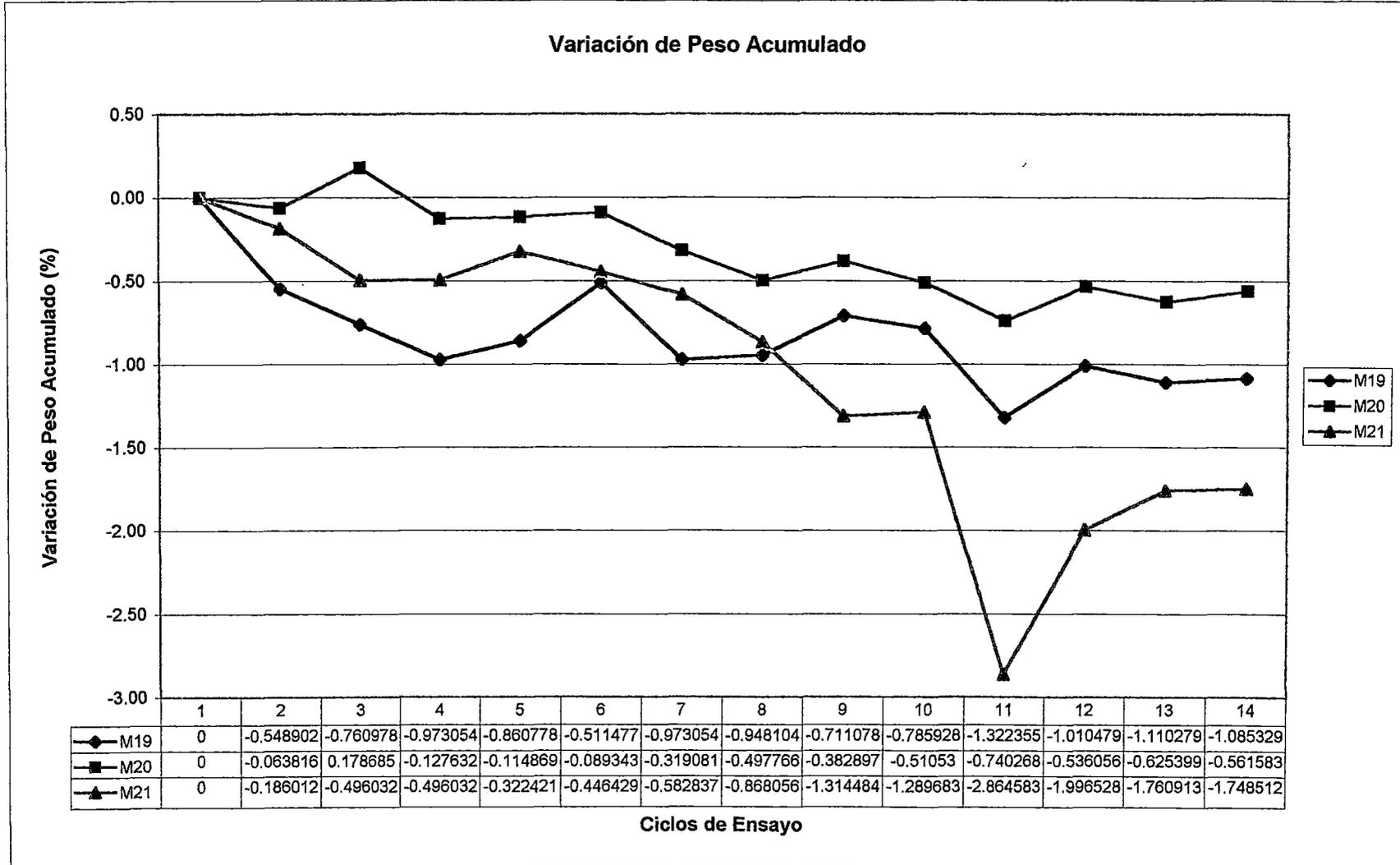
Gráfico 7.1.68



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

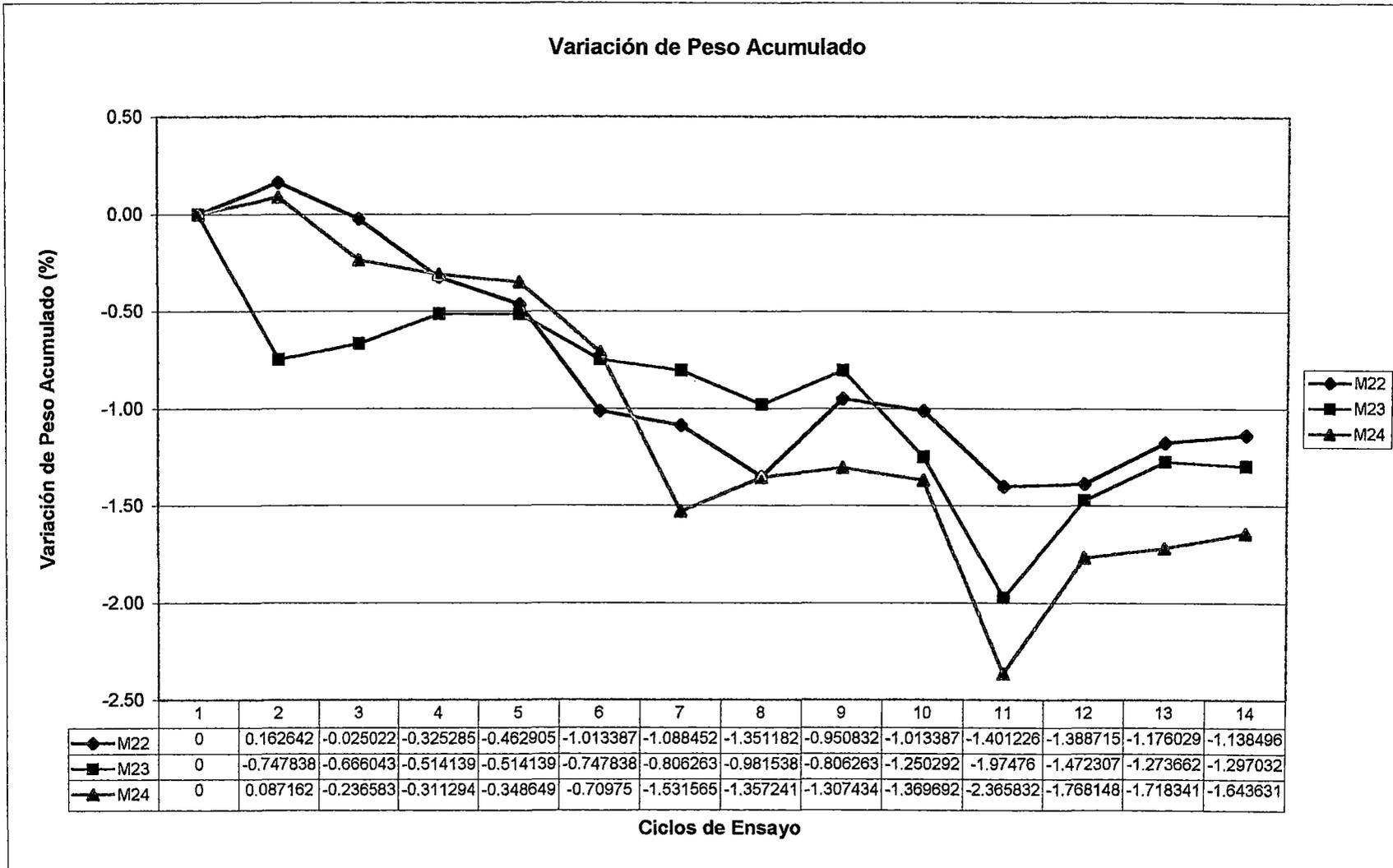
Gráfico 7.1.69



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

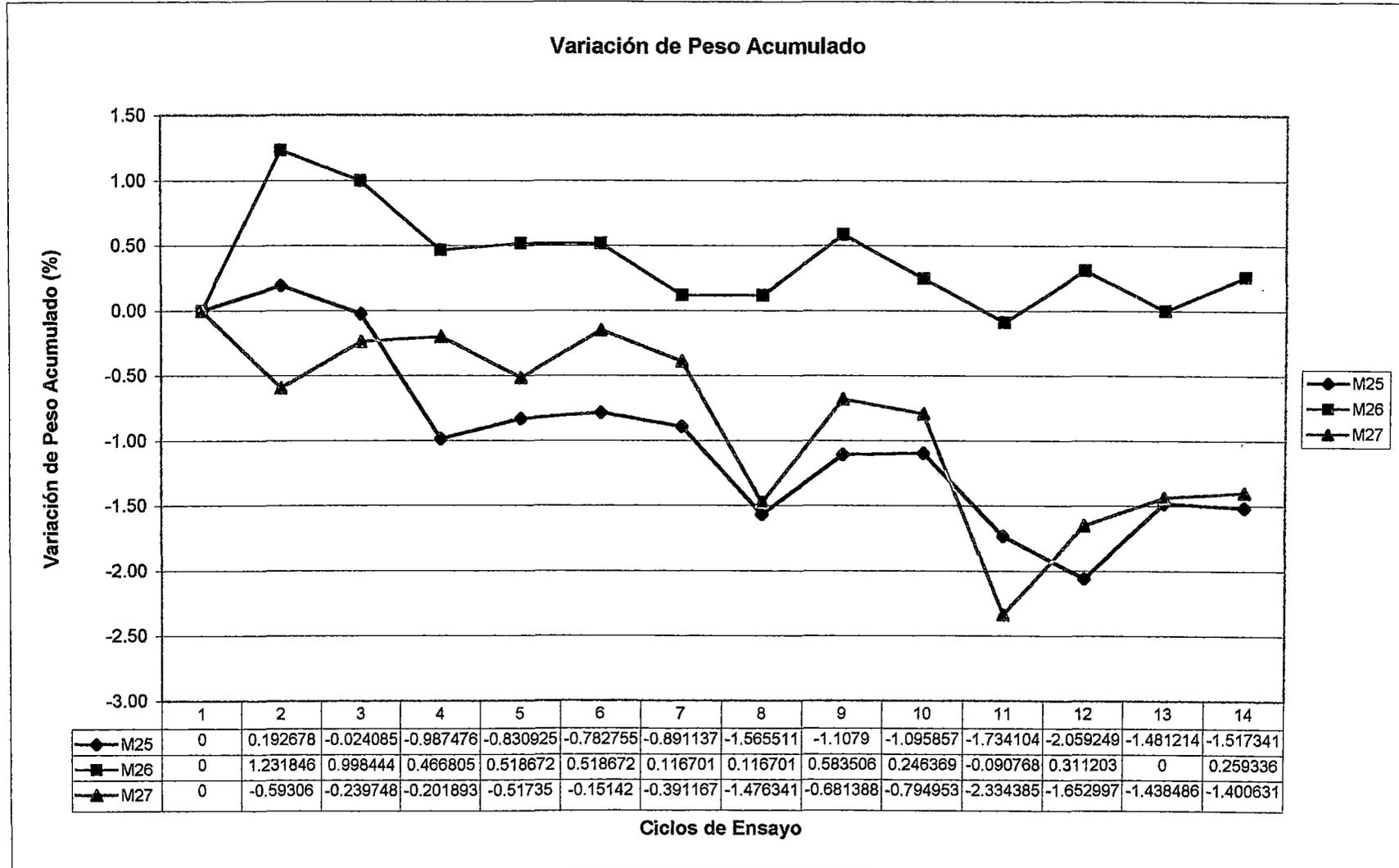
Gráfico 7.1.70



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

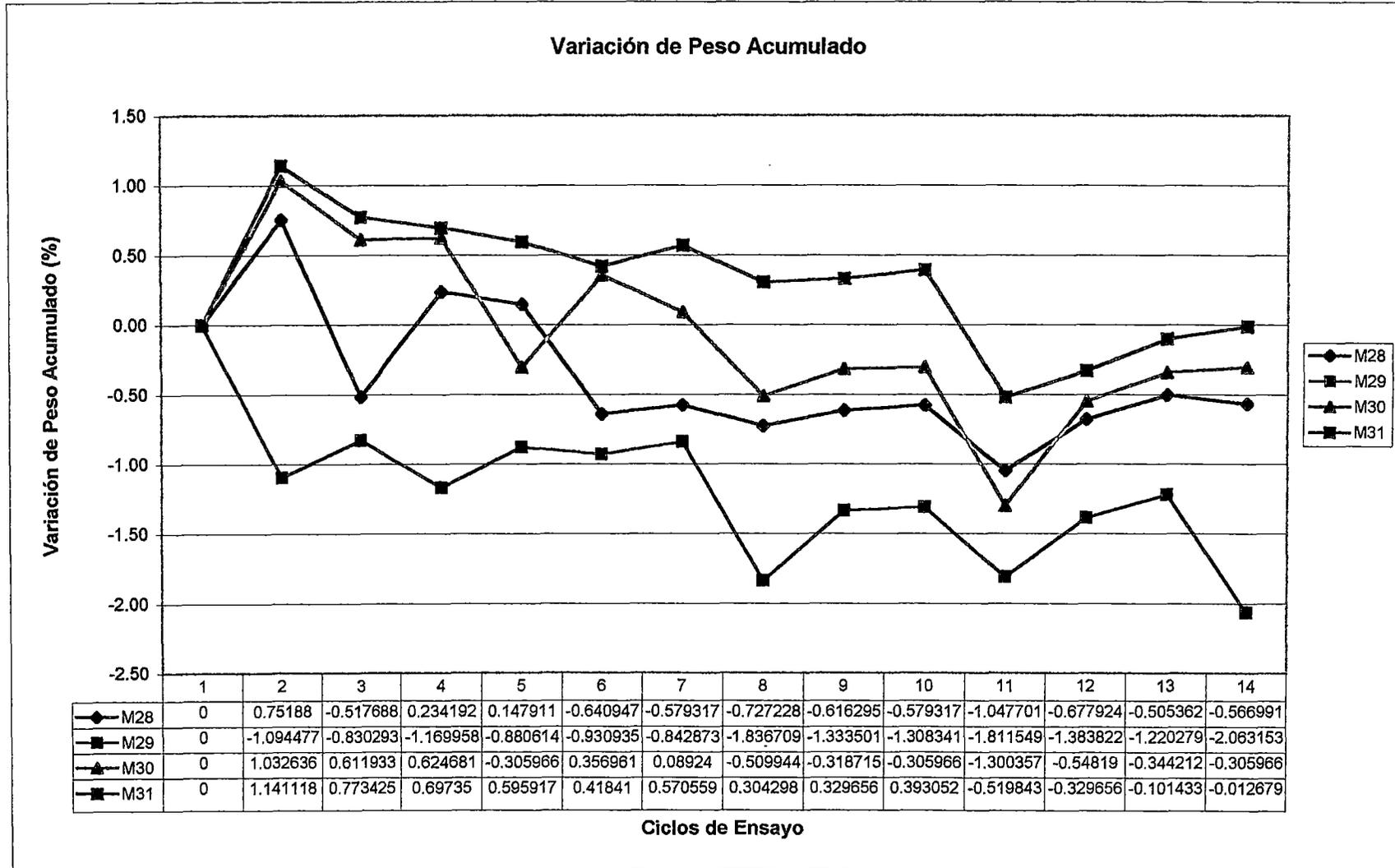
Gráfico 7.1.71



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 31

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.72

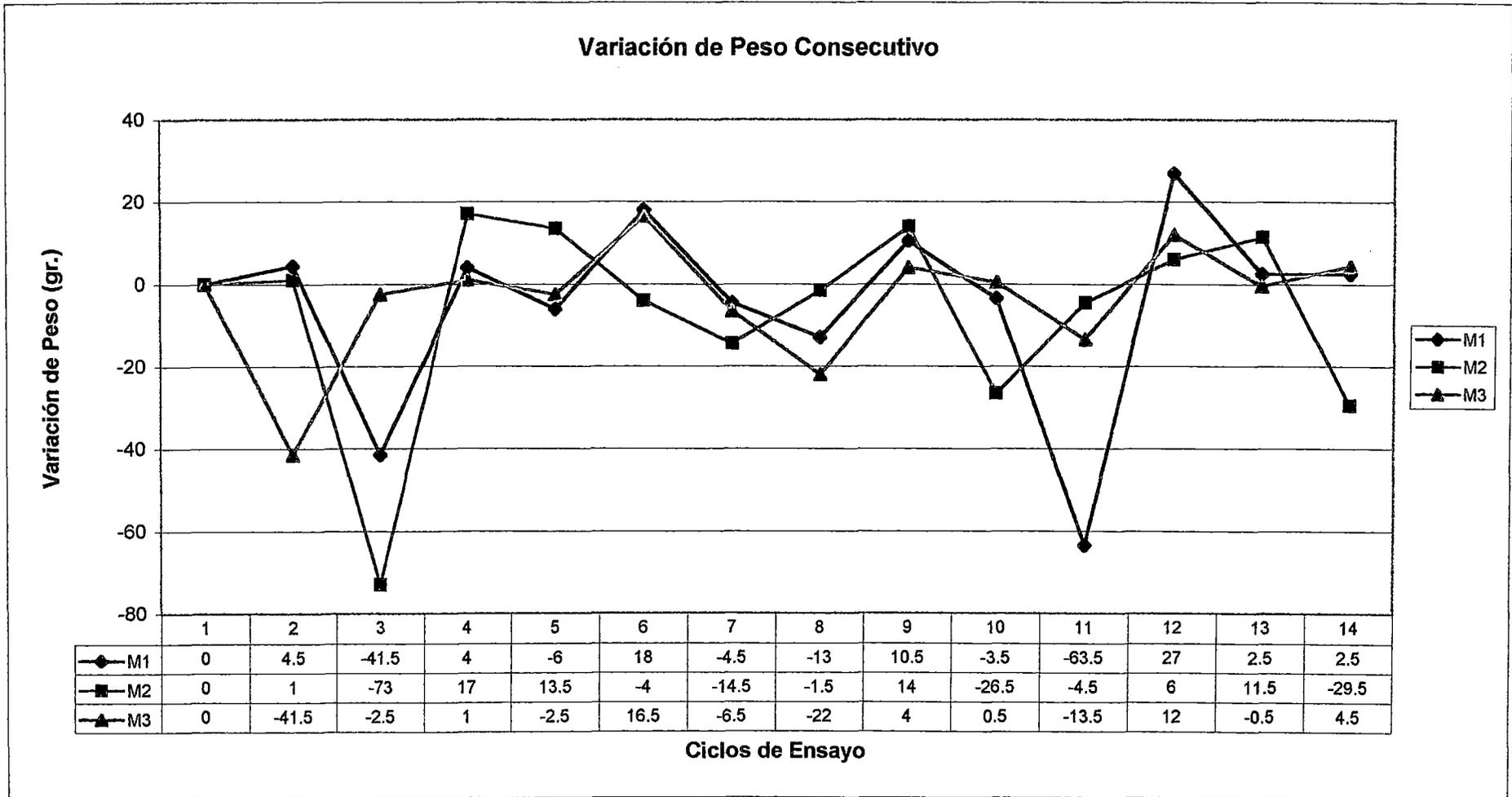


VARIACION DE PESO CONSECUTIVO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.73



Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL

SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit

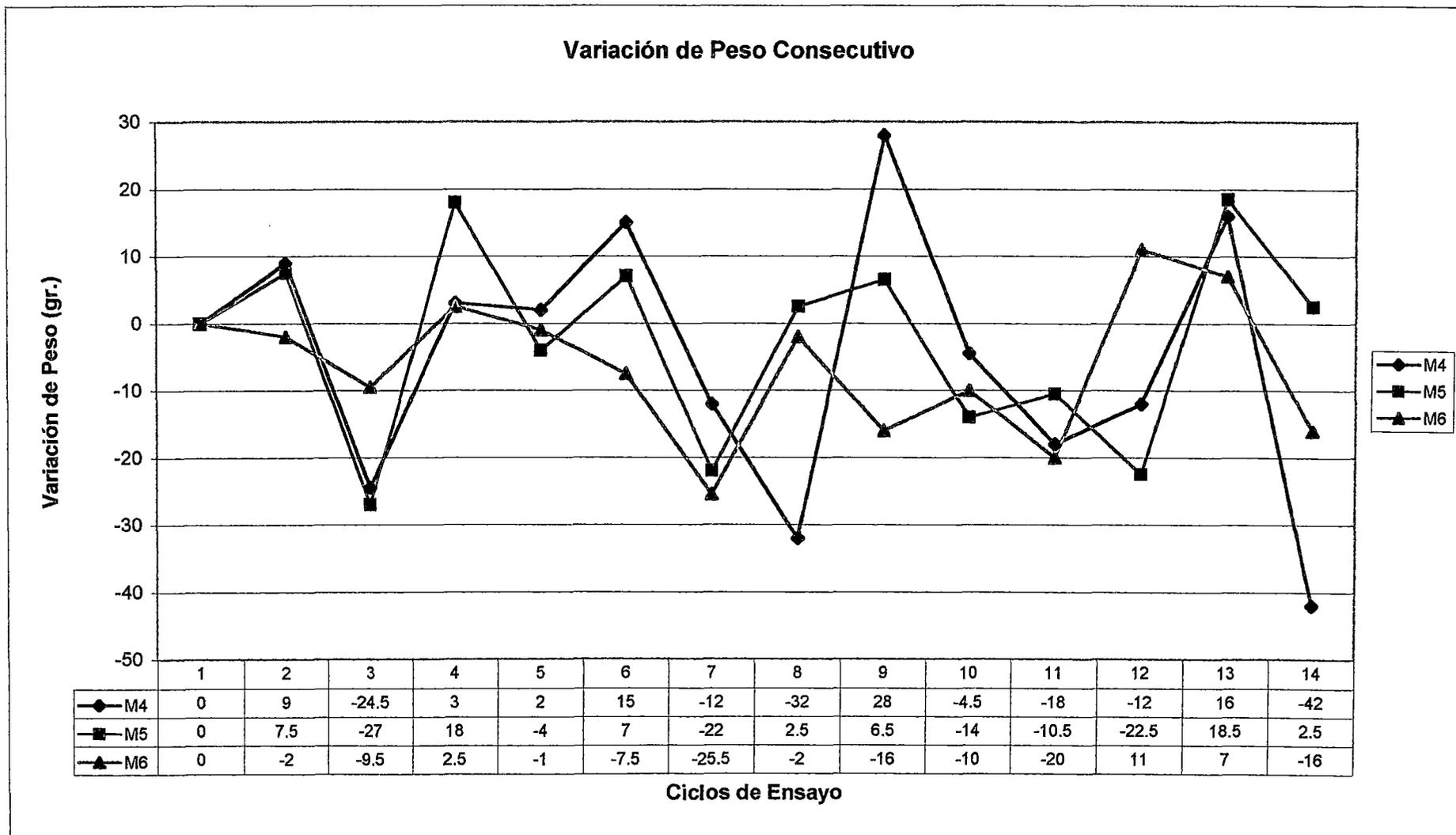
PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"

DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1

AGUA 0.70

Gráfico 7.1.74

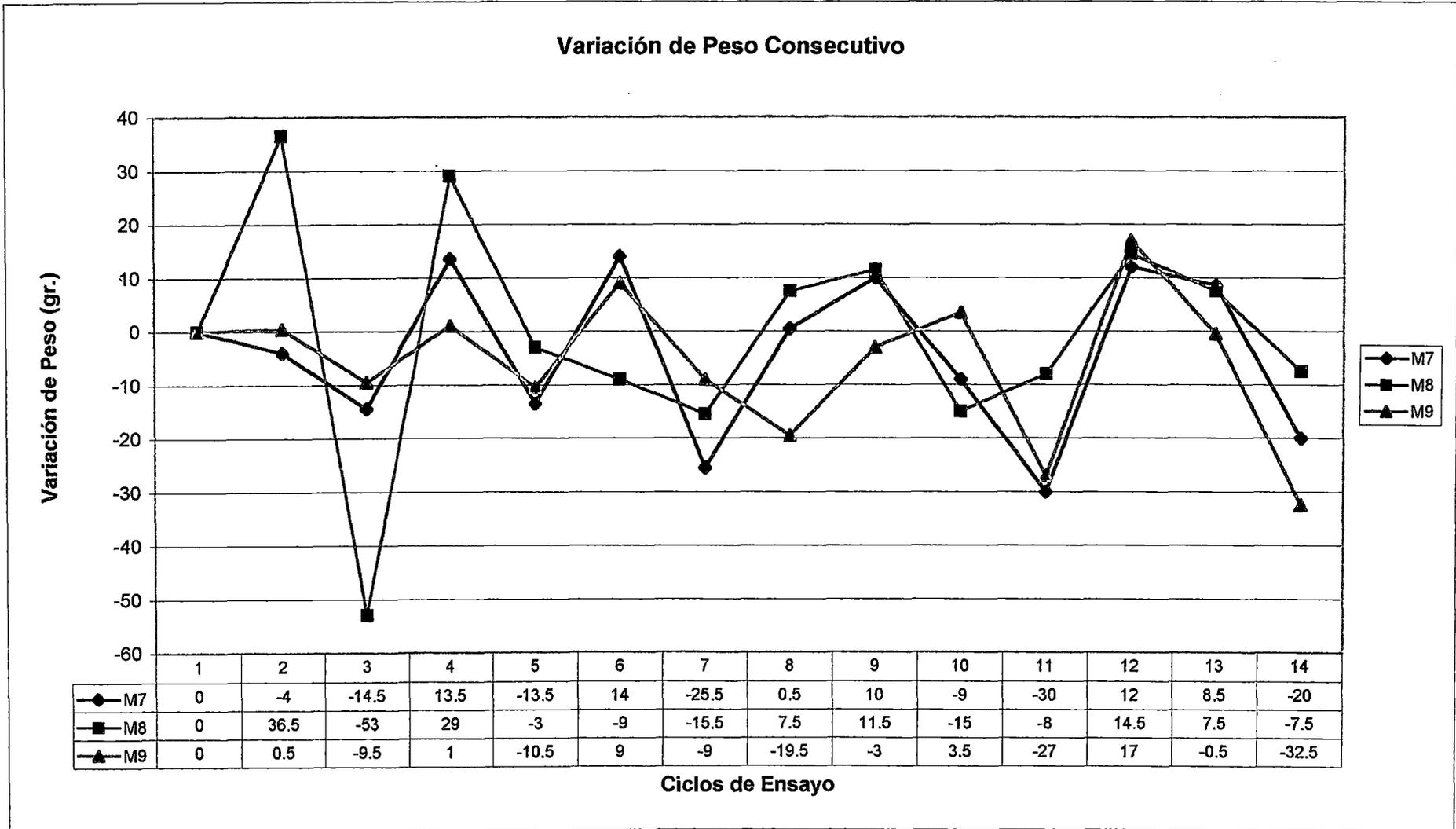


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.75

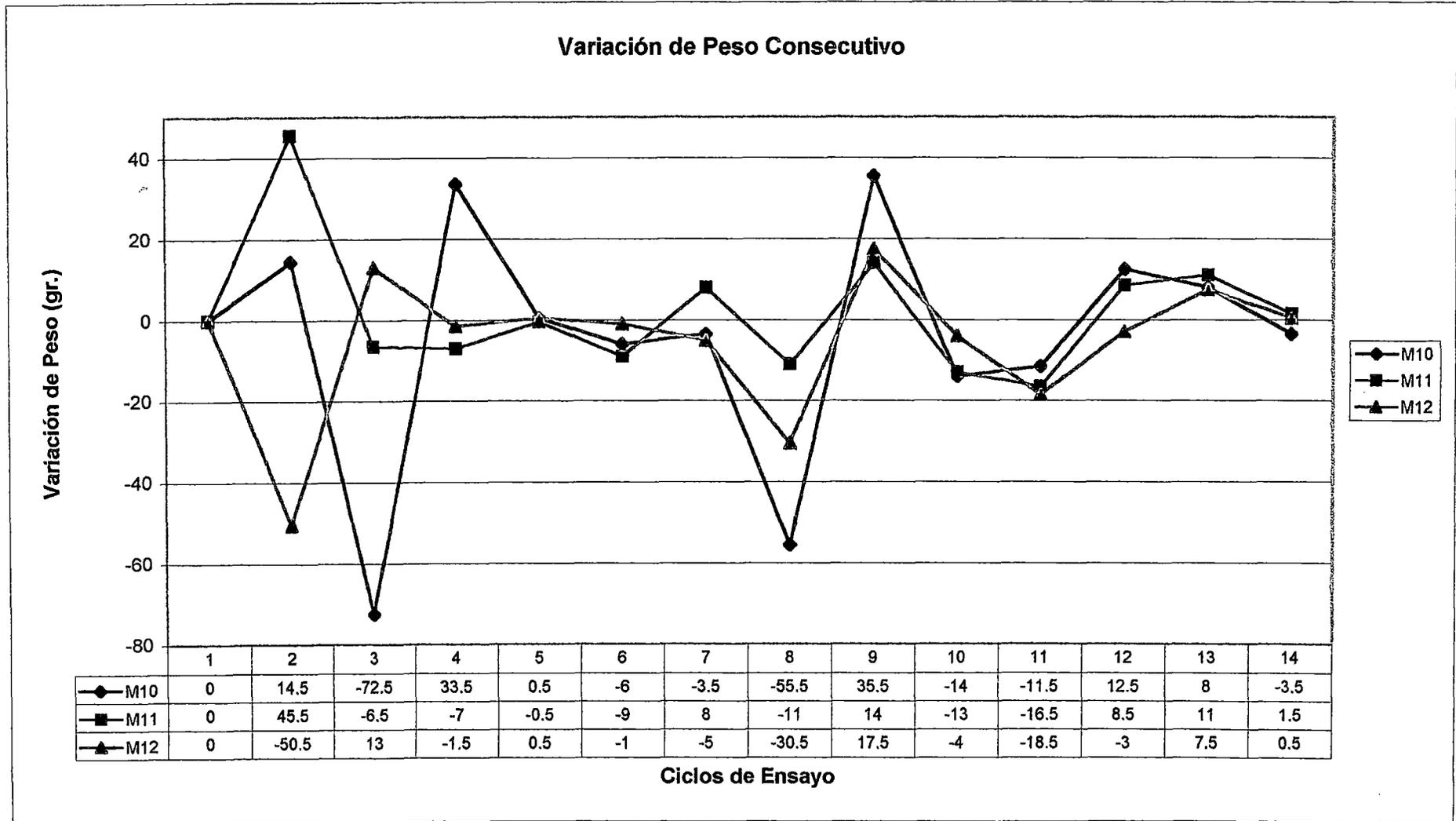


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.76

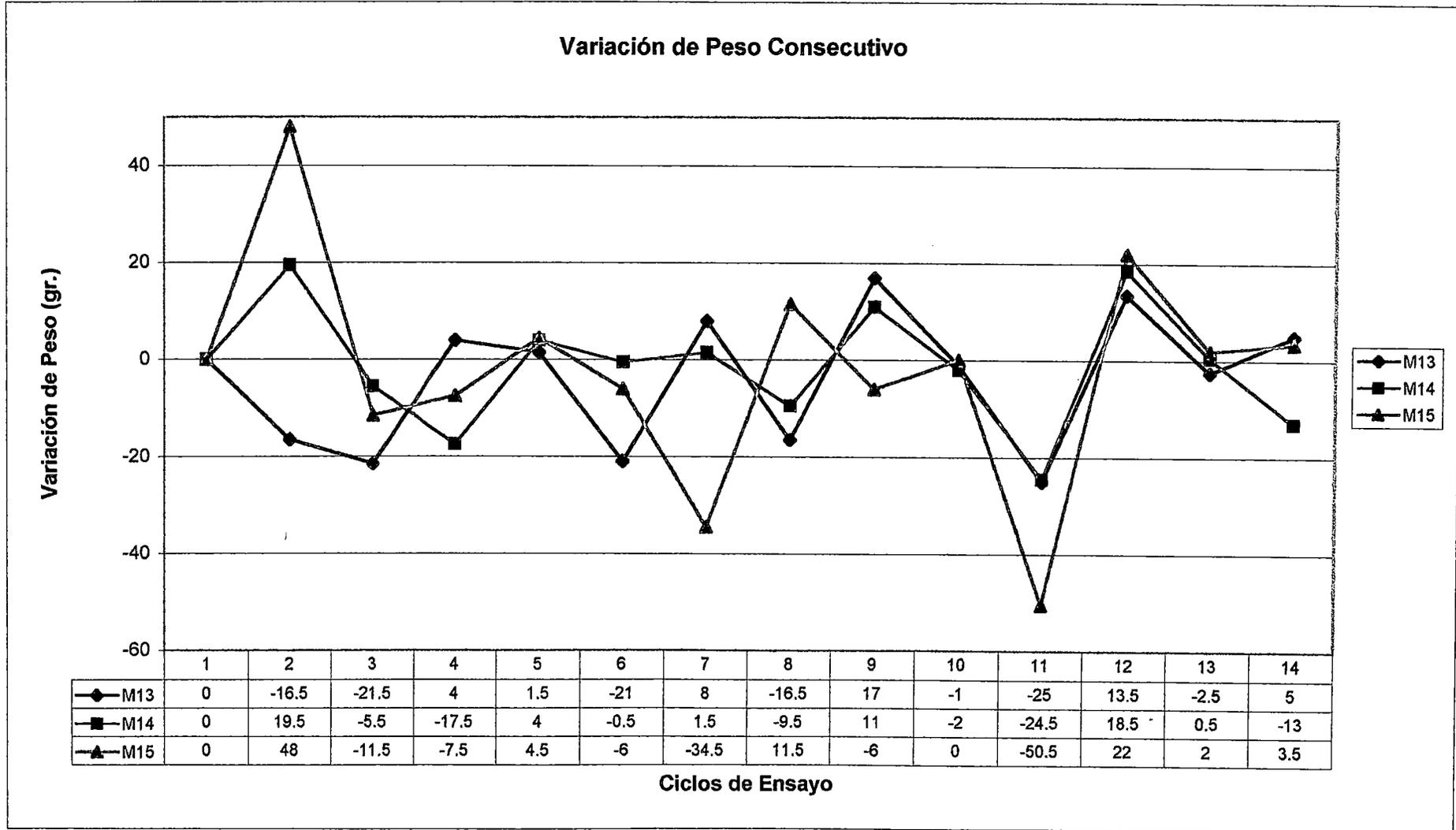


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
AGUA 0.70

Gráfico 7.1.77

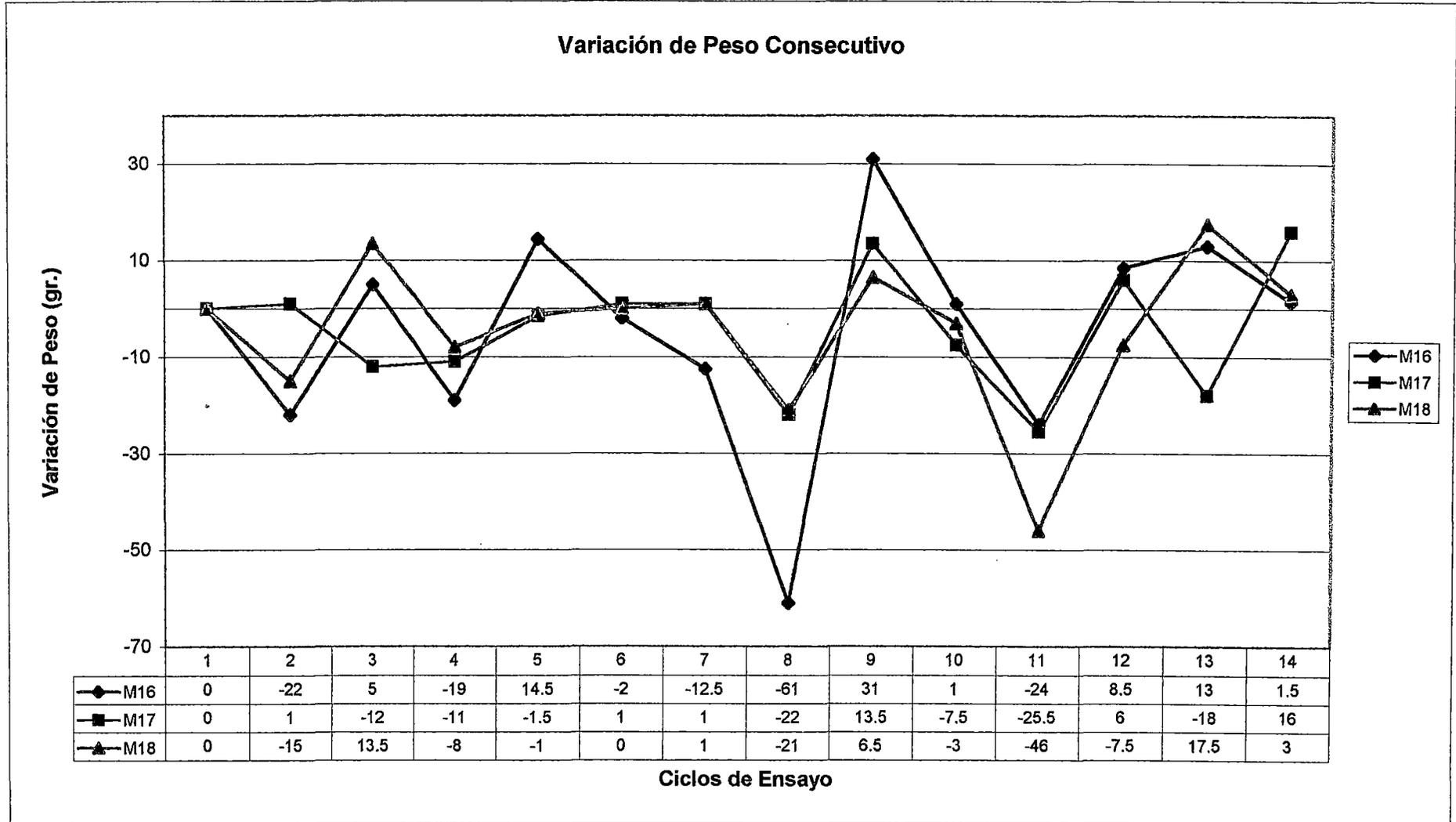


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.78

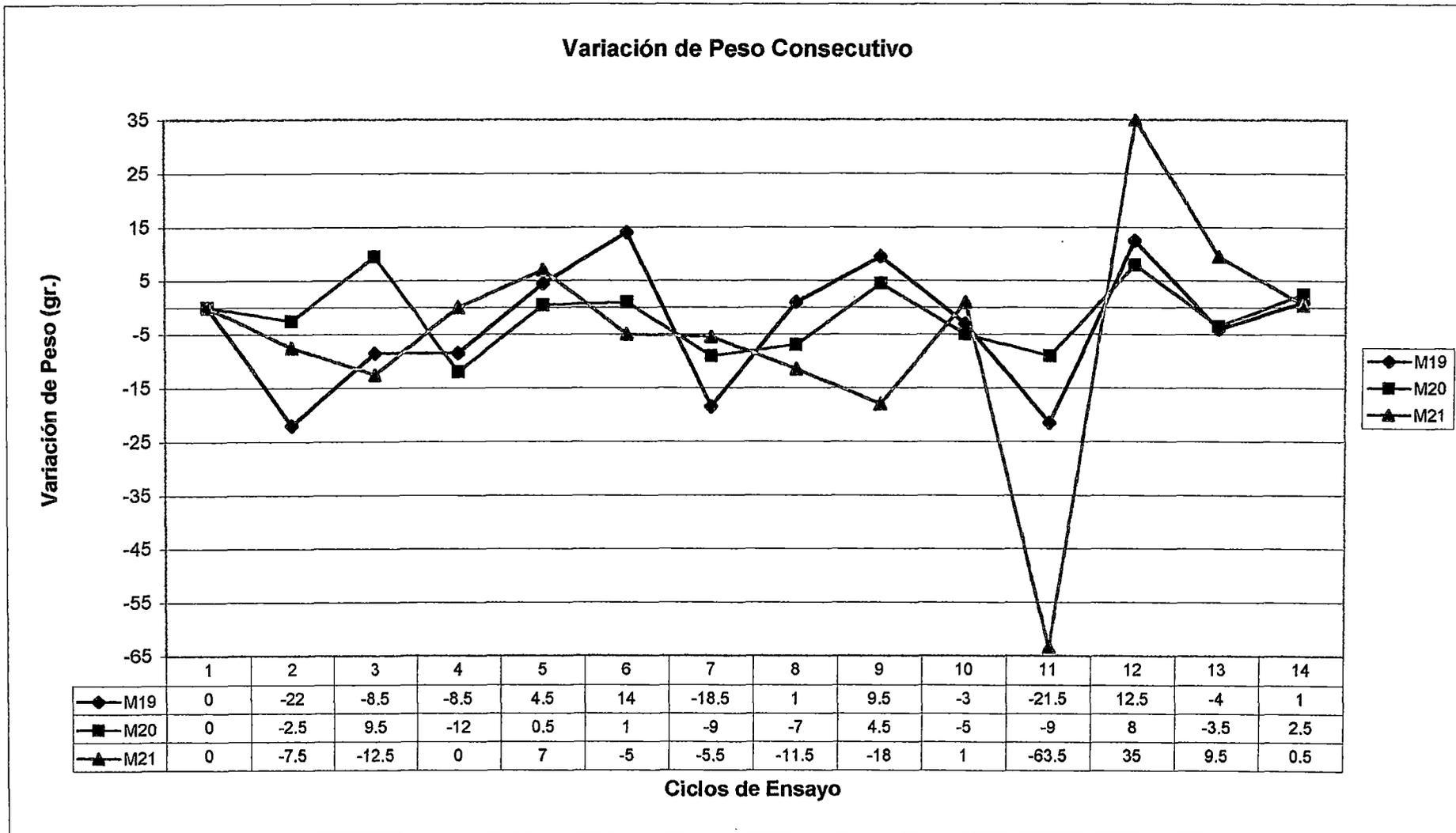


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.79

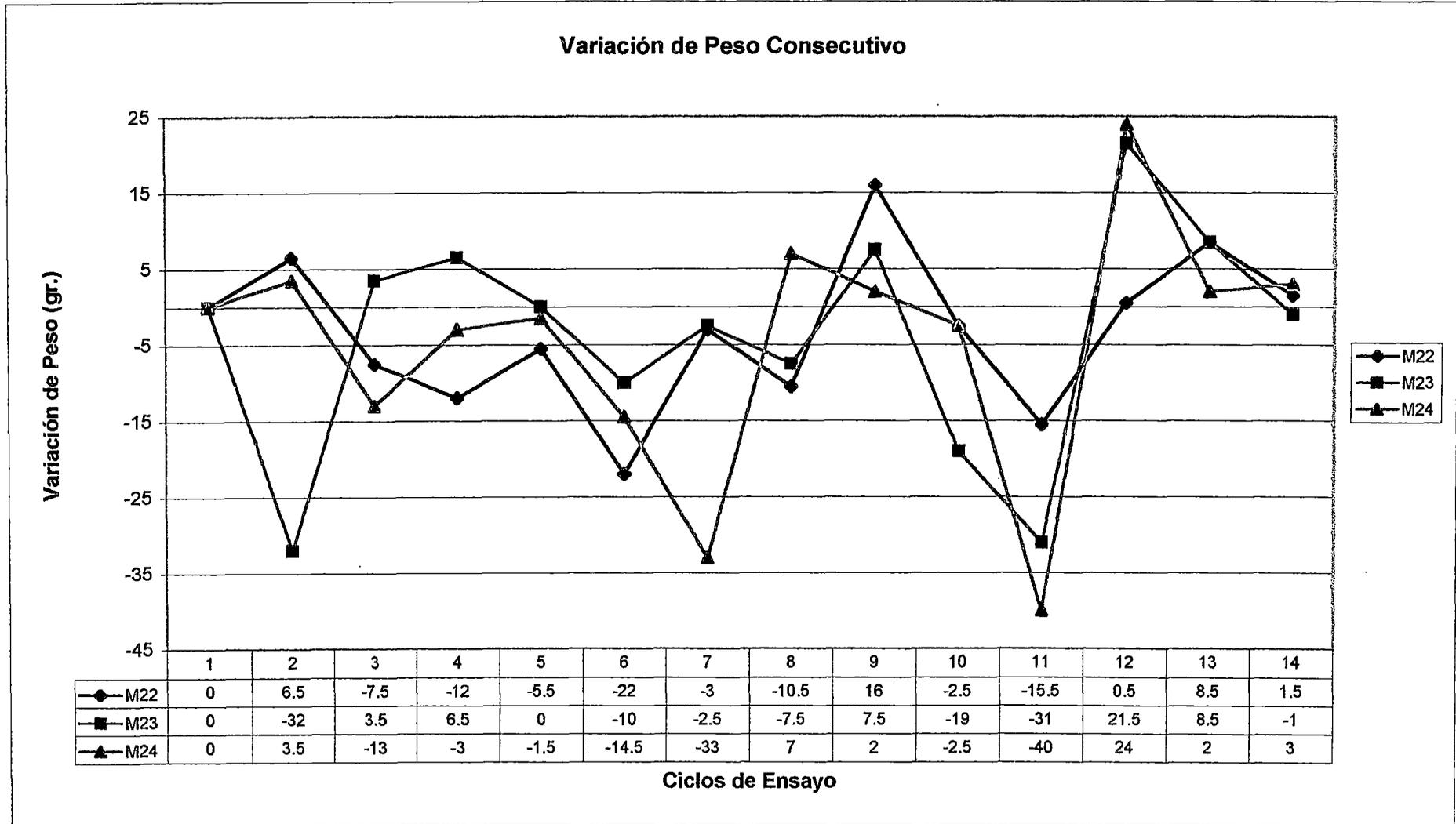


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.80

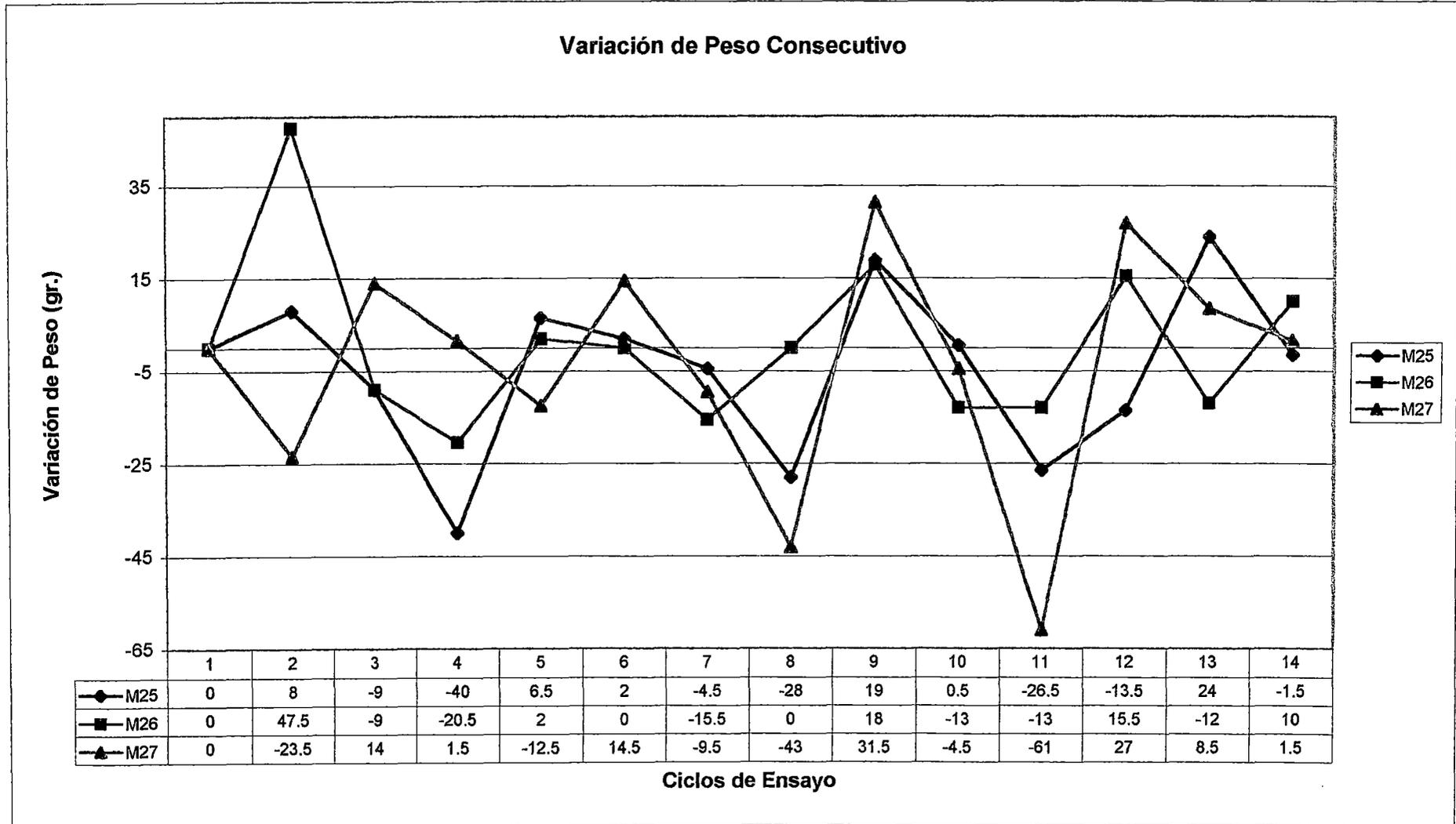


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.81

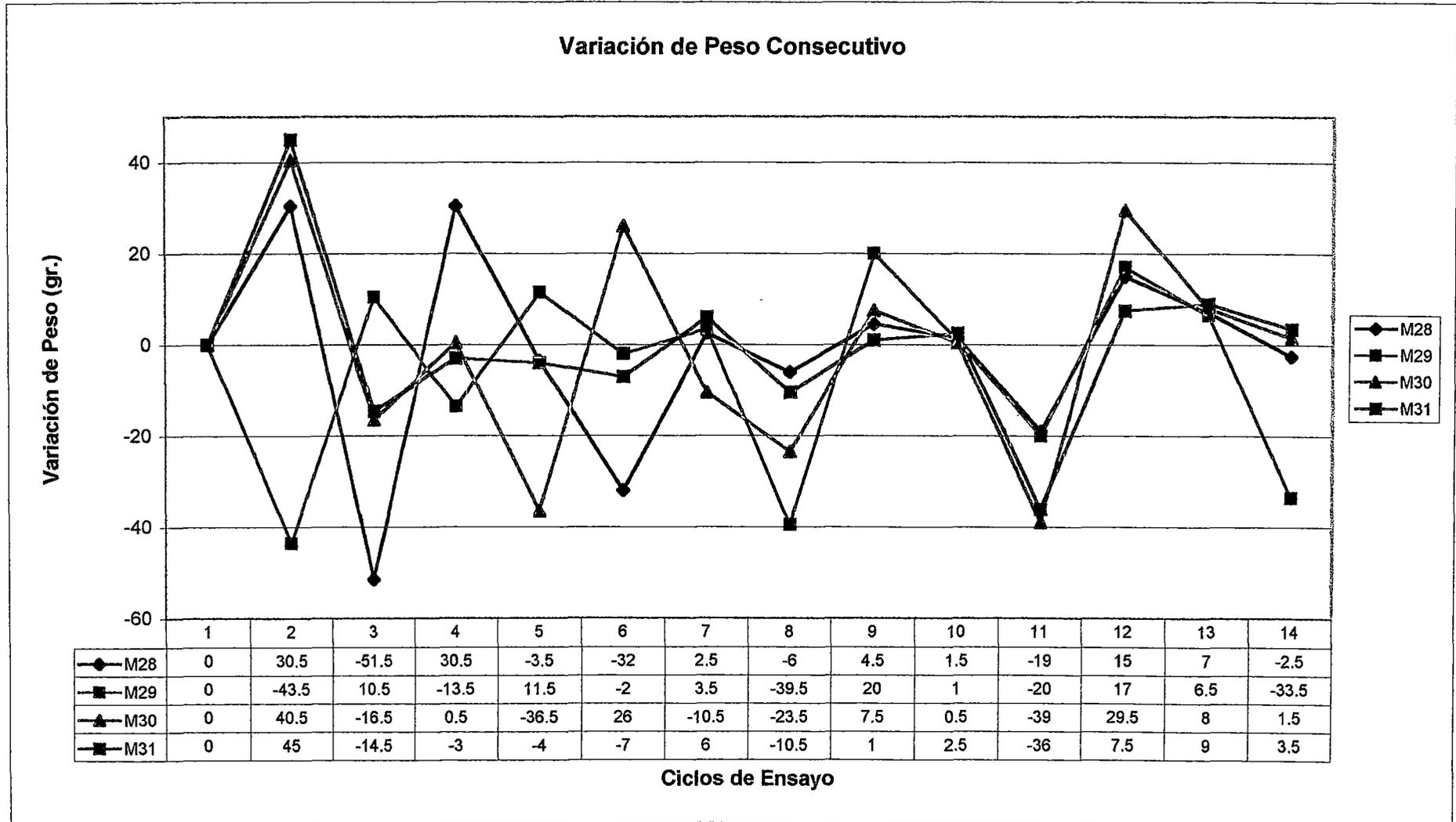


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 28 AL 31

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.82

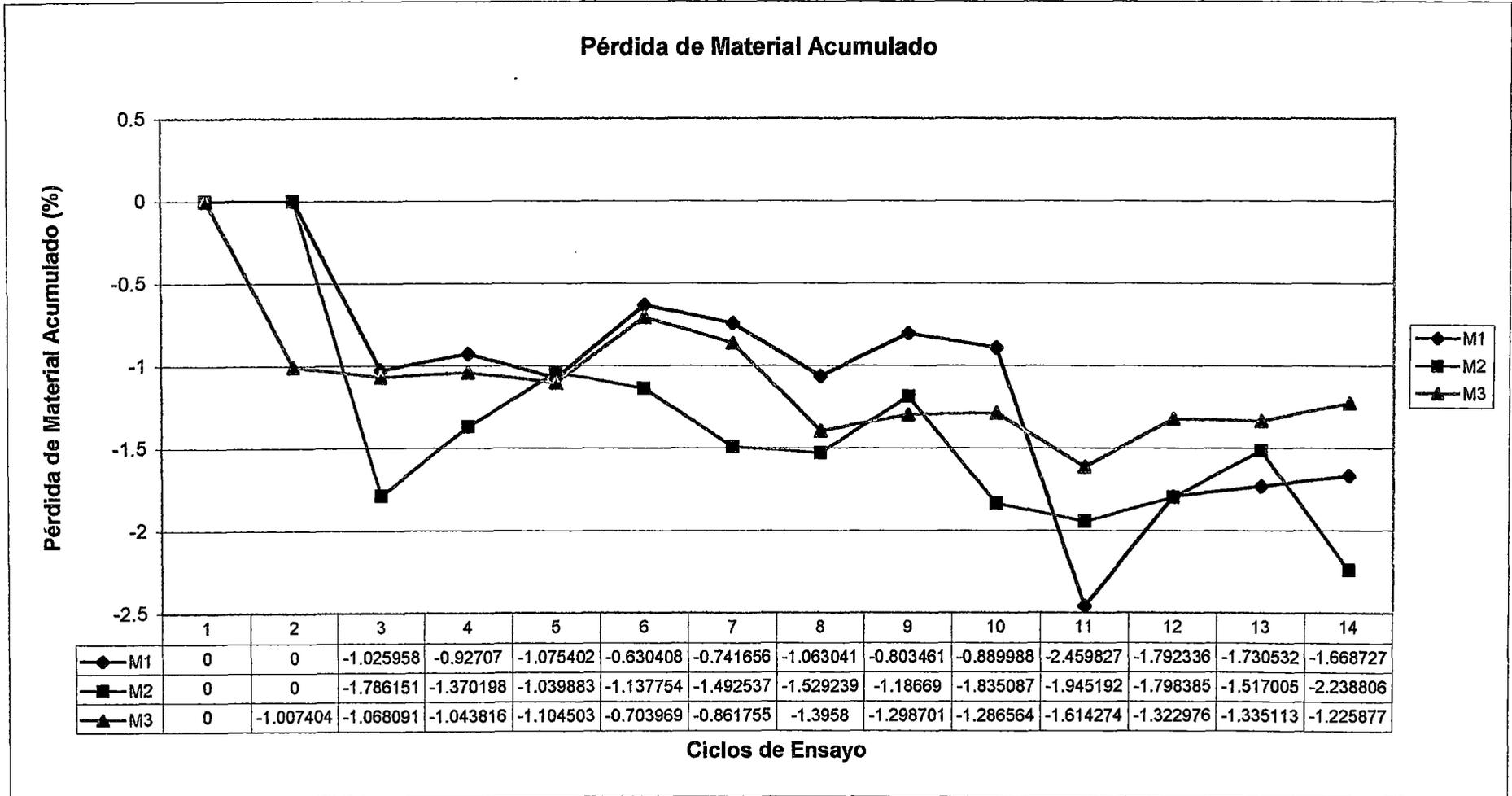


PERDIDA DE MATERIAL ACUMULADO

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 1 AL 3

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.83



Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL

SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt

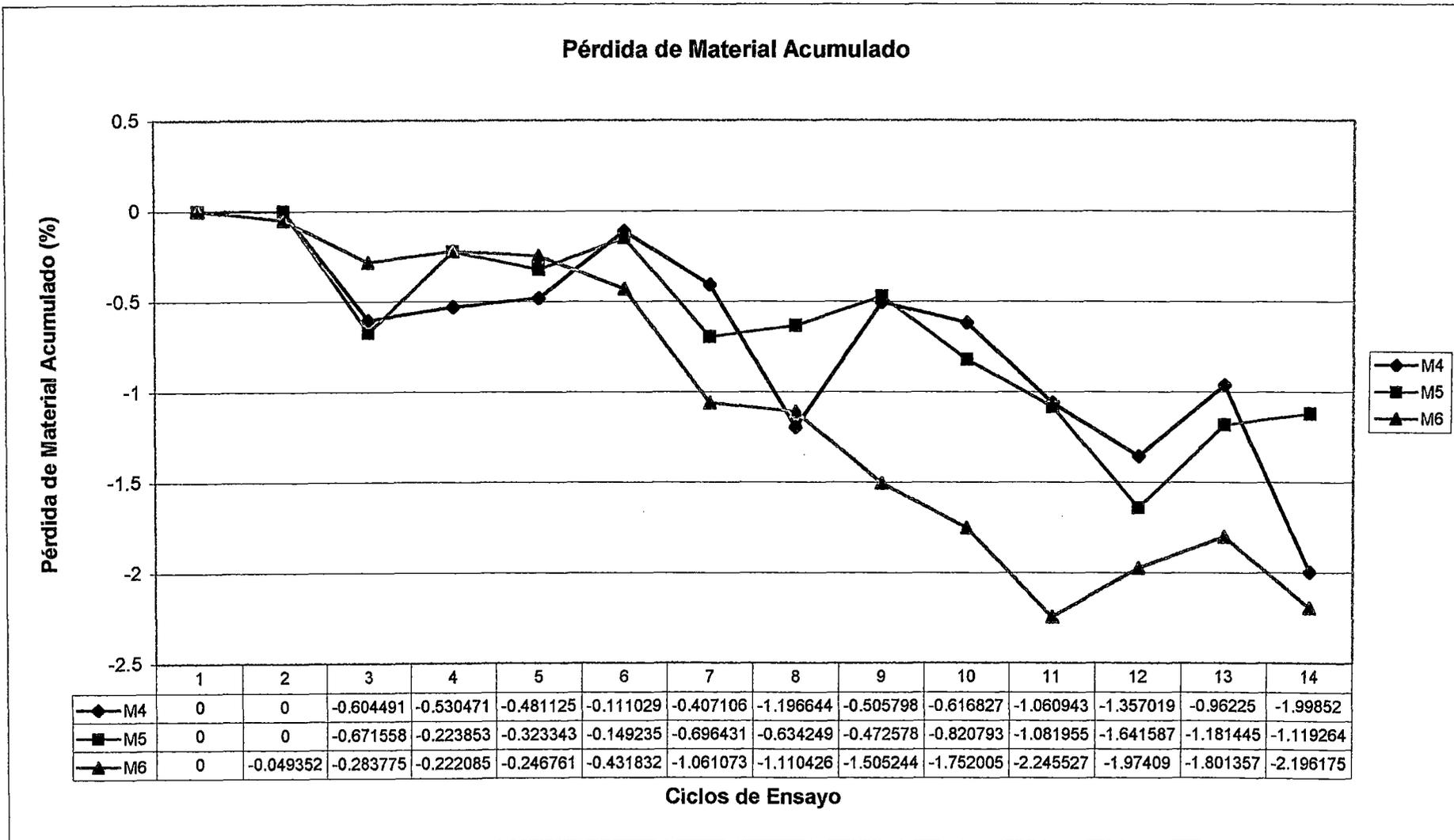
PROBETAS: 4 AL 6

PROBETAS : 4x8"

DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1

AGUA 0.70

Gráfico 7.1.84

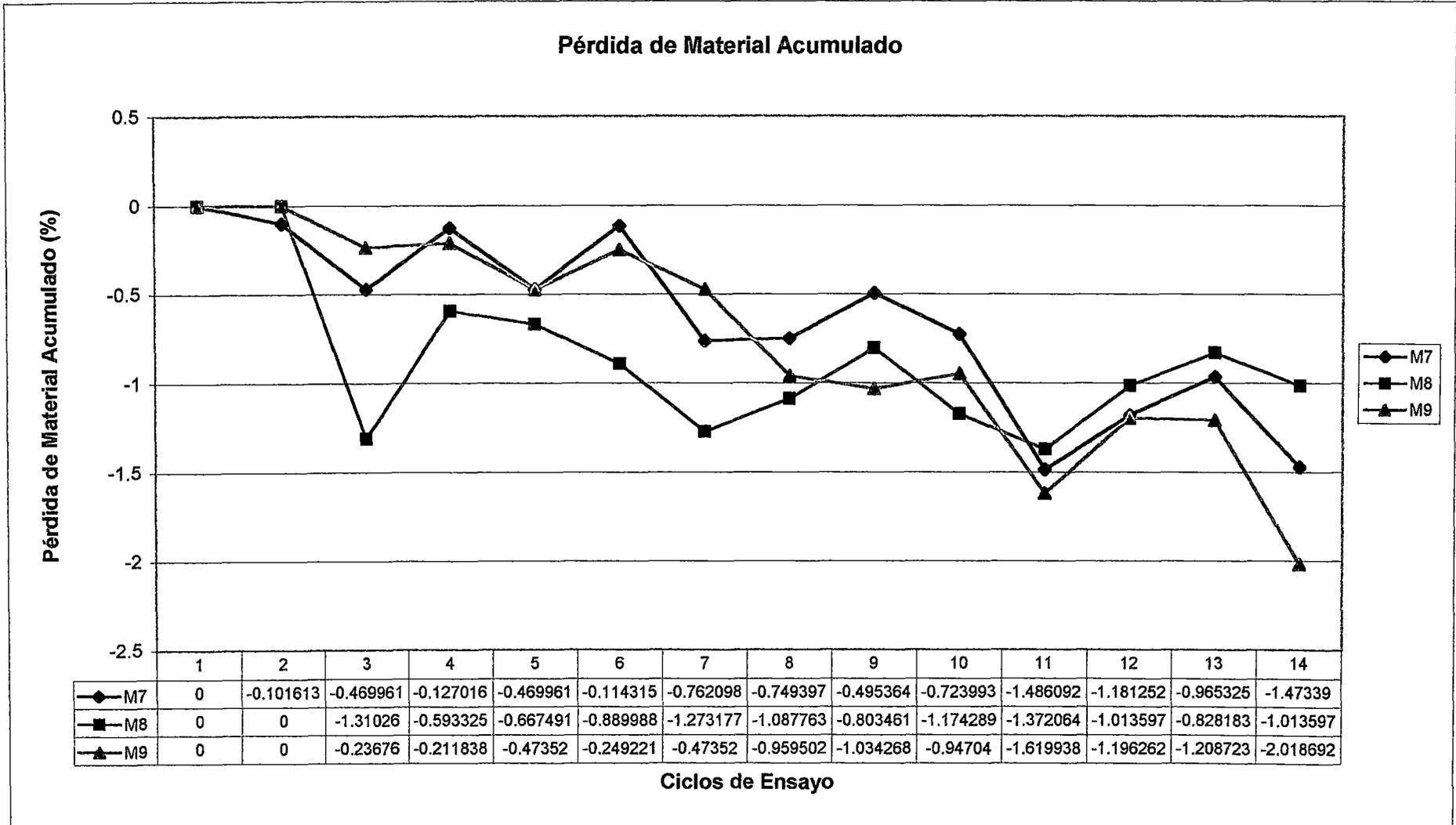


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 7 AL 9

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.85

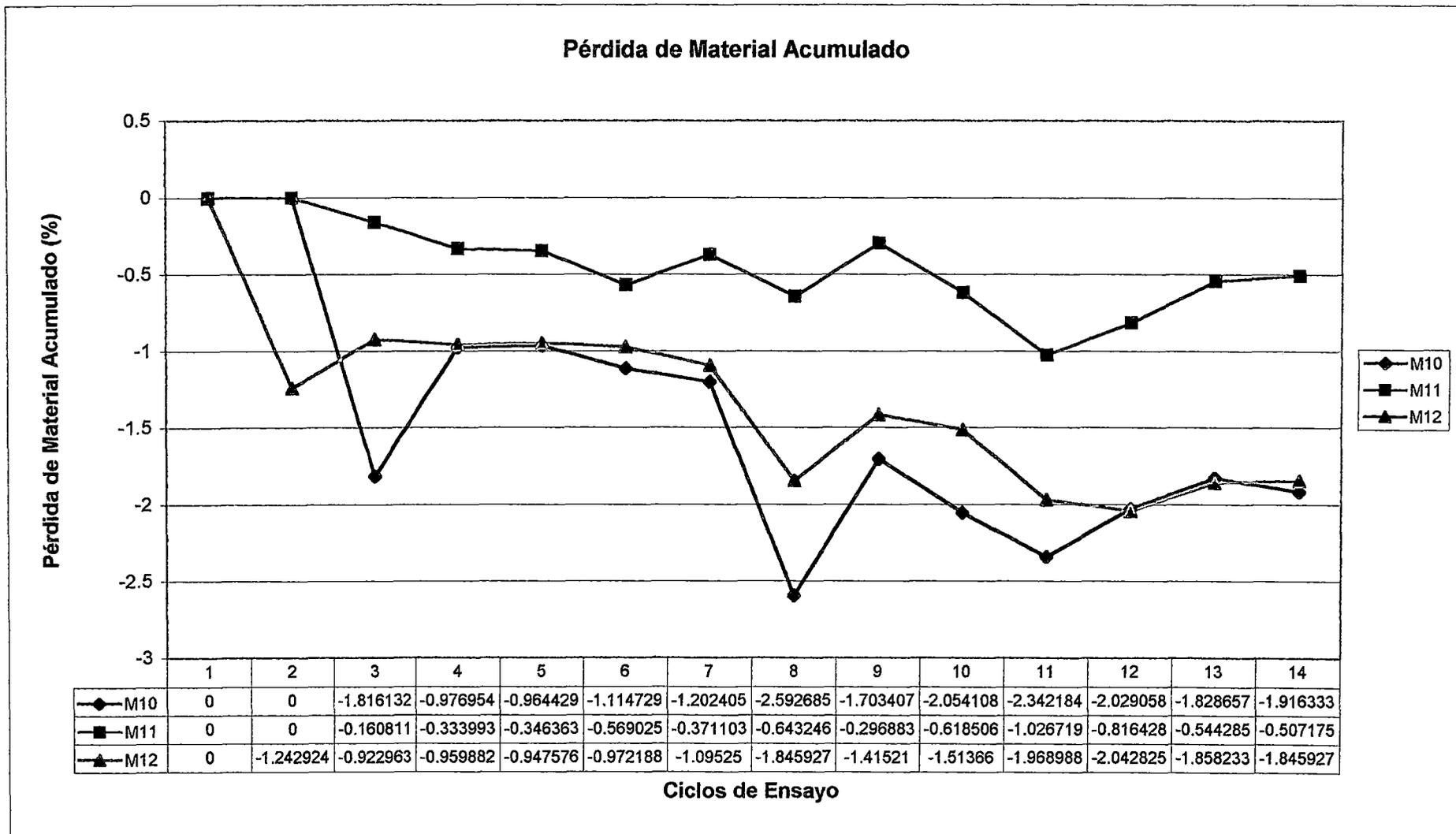


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 10 AL 12

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.86

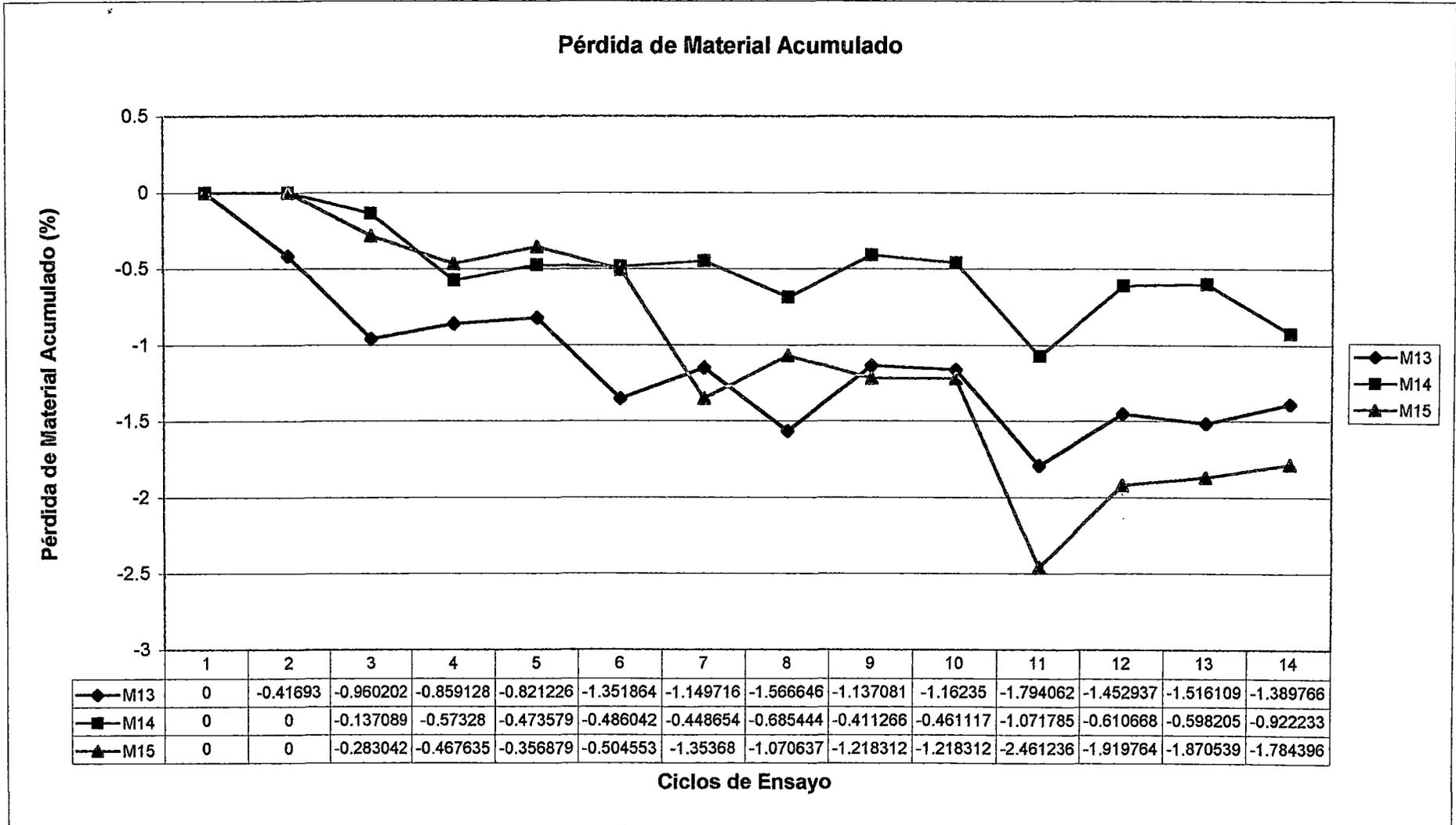


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 13 AL 15

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.87



Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL

SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt

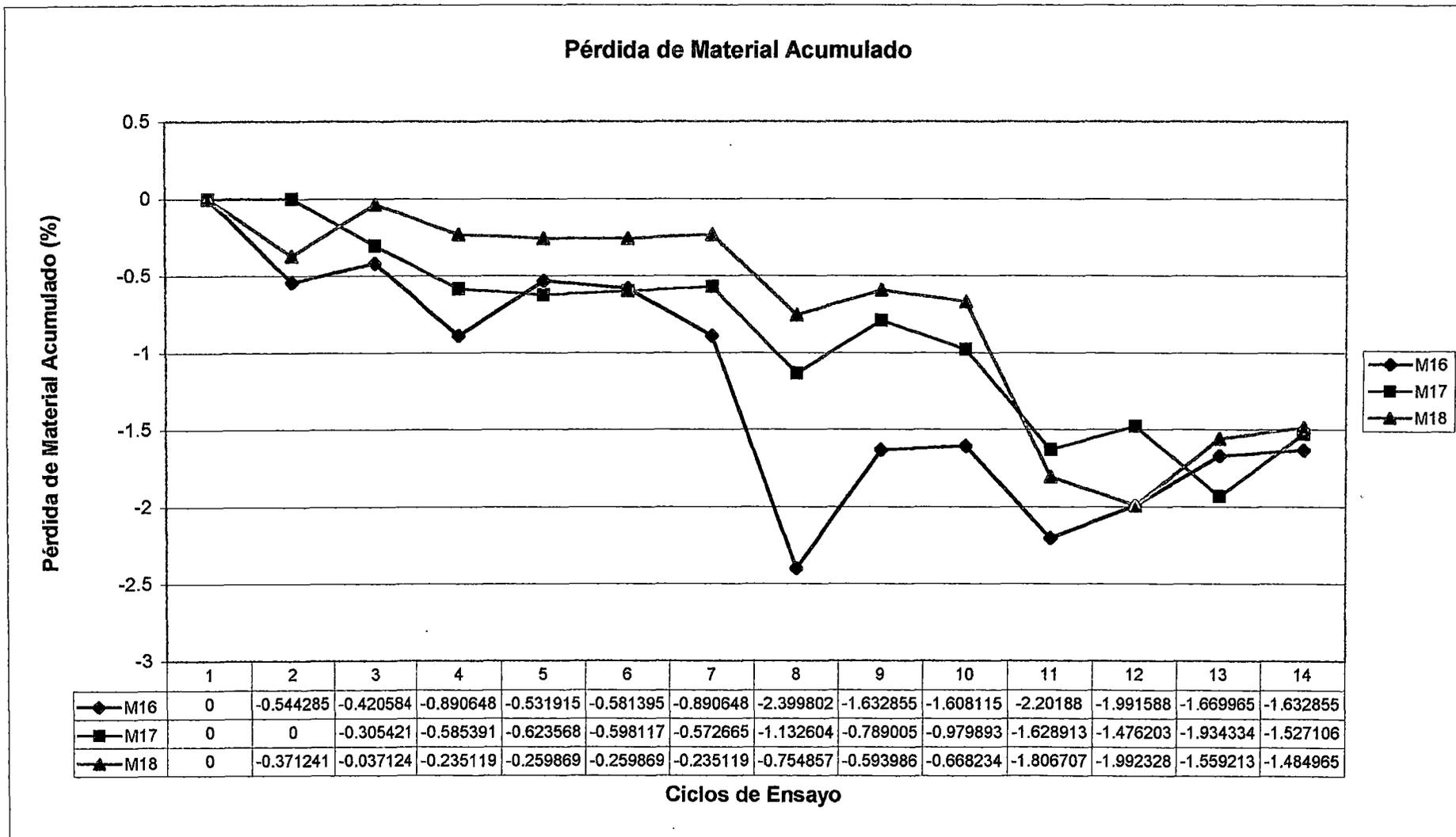
PROBETAS: 16 AL 18

PROBETAS : 4x8"

DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1

AGUA 0.70

Gráfico 7.1.88



Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO

CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL

SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt

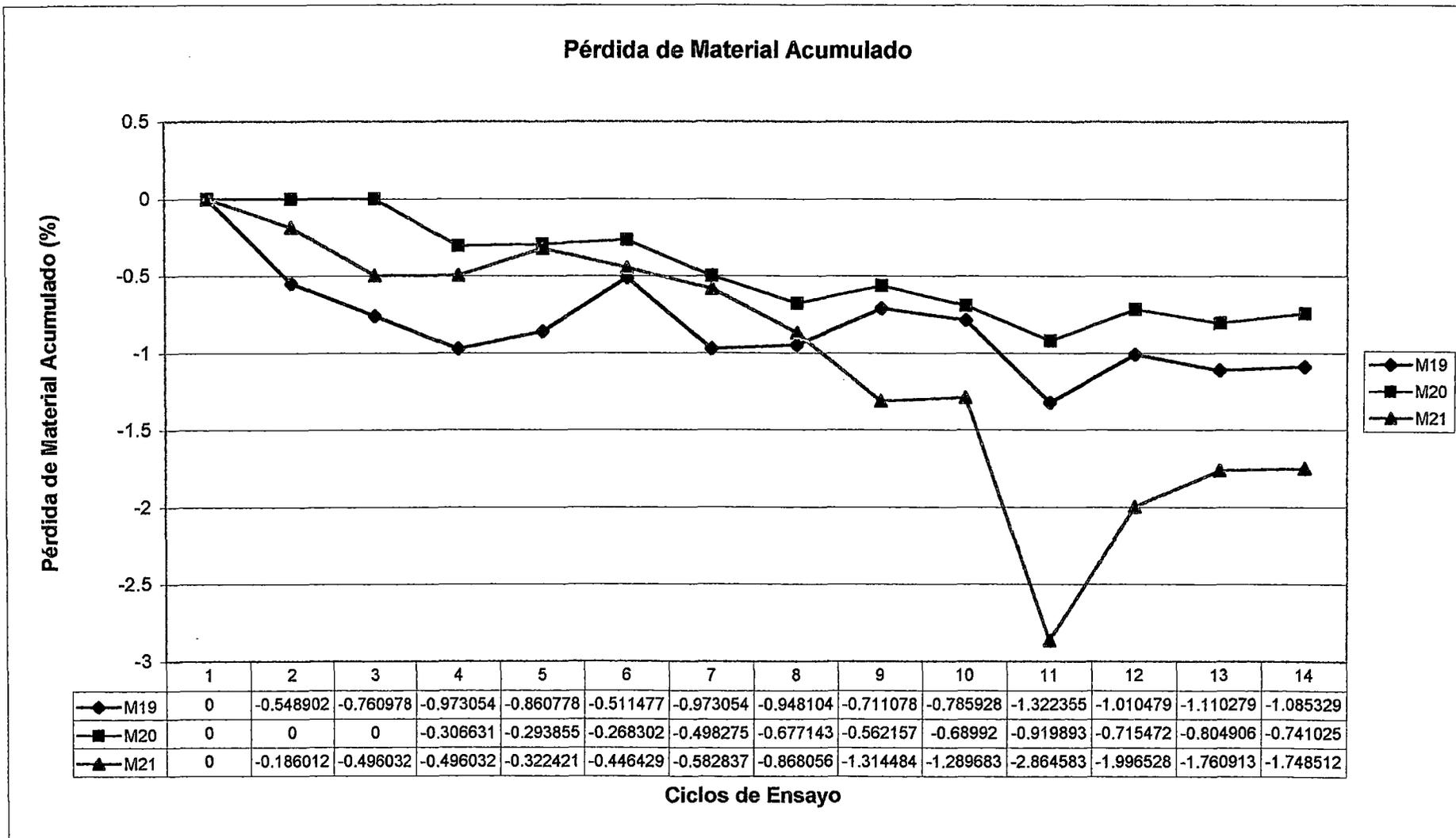
PROBETAS: 19 AL 21

PROBETAS : 4x8"

DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1

AGUA 0.70

Gráfico 7.1.89

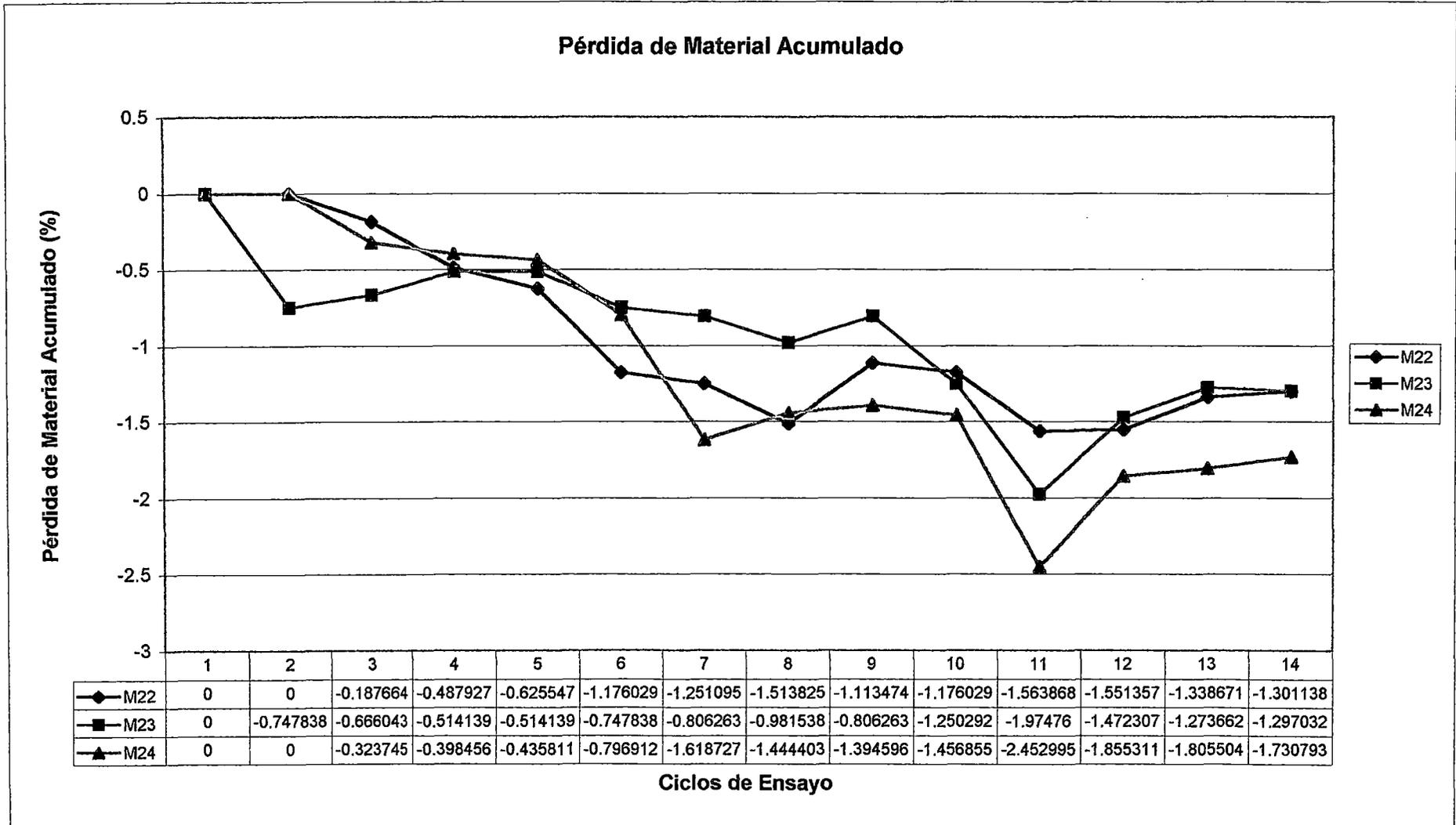


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 22 AL 24

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

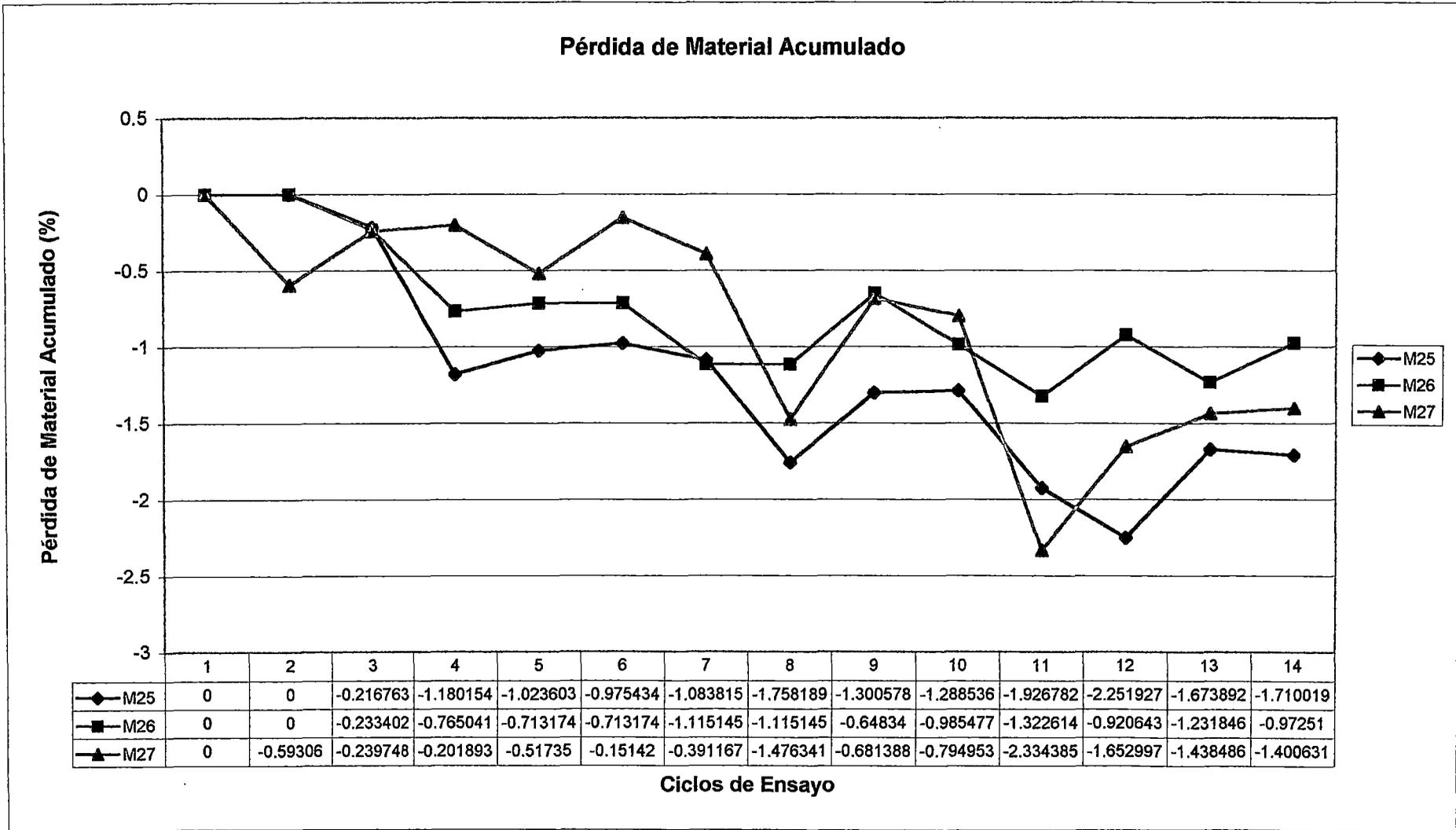
Gráfico 7.1.90



ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lit
 PROBETAS: 25 AL 27

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.91

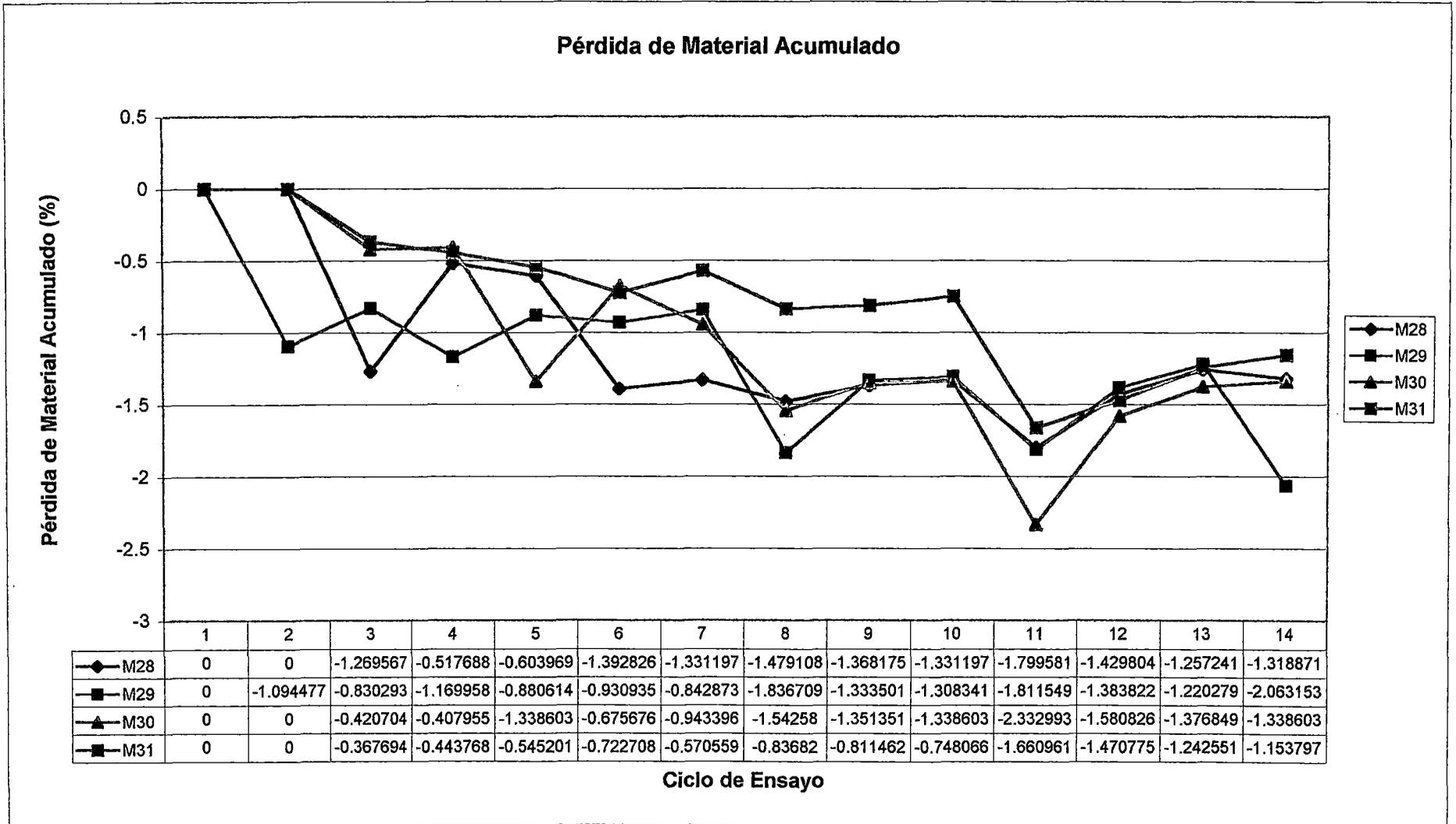


Bach. Eduardo Celso Meza Bernuy

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN SULFATO DE MAGNESIO 100 gr/lt
 PROBETAS: 28 AL 31

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.92

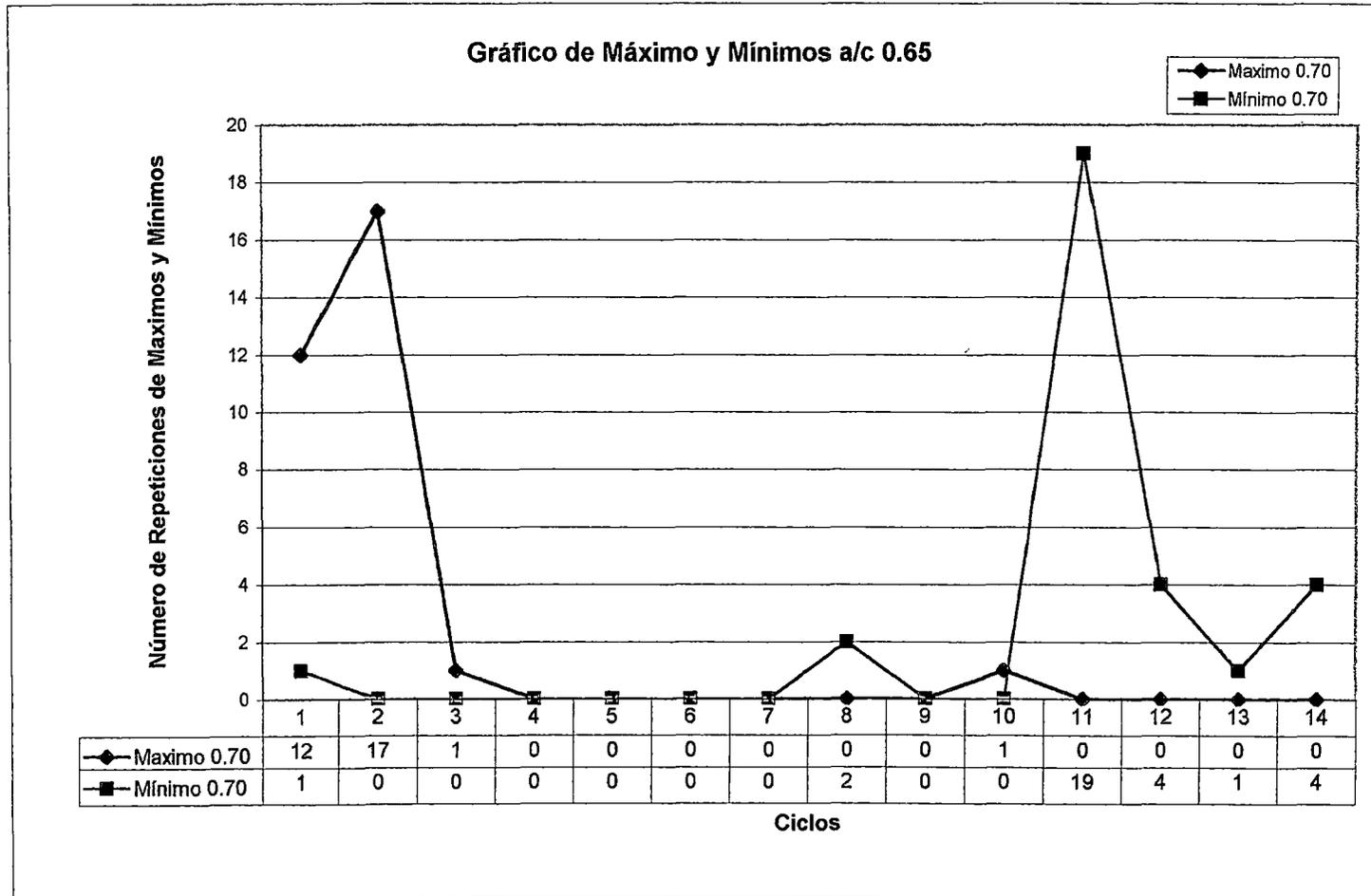


NUMERO DE FRECUENCIAS DE MAXIMOS Y MINIMOS

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Gráfico 7.1.93



7.2.5 Cuadros y Gráficos del Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 30, 60, 90 y 120 días a muestras sumergidas en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt.

7.2.5.1 Ensayo de compresión a los 30-60-90-120 días a muestras en solución de sulfato de magnesio.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
RESISTENCIA DE PROBETAS 4x8" INMERSAS EN SULFATO.
EXTRAPOLACIÓN DE RESISTENCIA A PROBETAS DE 6x12".

Relación a/c	f c (Kg/cm ²) Concreto Patrón (28 días) (A)	# de días de inmersión	f c (Kg/cm ²) (B)	Factor a 28 días (C)	F c (Kg/cm ²) (D)=(BxC)	Desarrollo Porcentual de (D)/(A)
0.60	272.96	30	297.30	1.080	321.08	117.63
		60	348.56		376.44	137.91
		90	294.86		318.44	116.67
		120	255.26		275.68	101.00
0.65	243.03	30	253.16	1.010	255.69	105.21
		60	316.06		319.21	131.35
		90	272.27		274.99	113.15
		120	242.86		245.29	100.93
0.70	225.97	30	218.79	1.030	225.35	99.73
		60	294.18		303.00	134.09
		90	253.84		261.46	115.71
		120	228.54		235.40	104.17

A: Probetas 6x12"

B: Probetas 4x8"

C: Factor de relación entre las probetas 6x12" y 4x8".

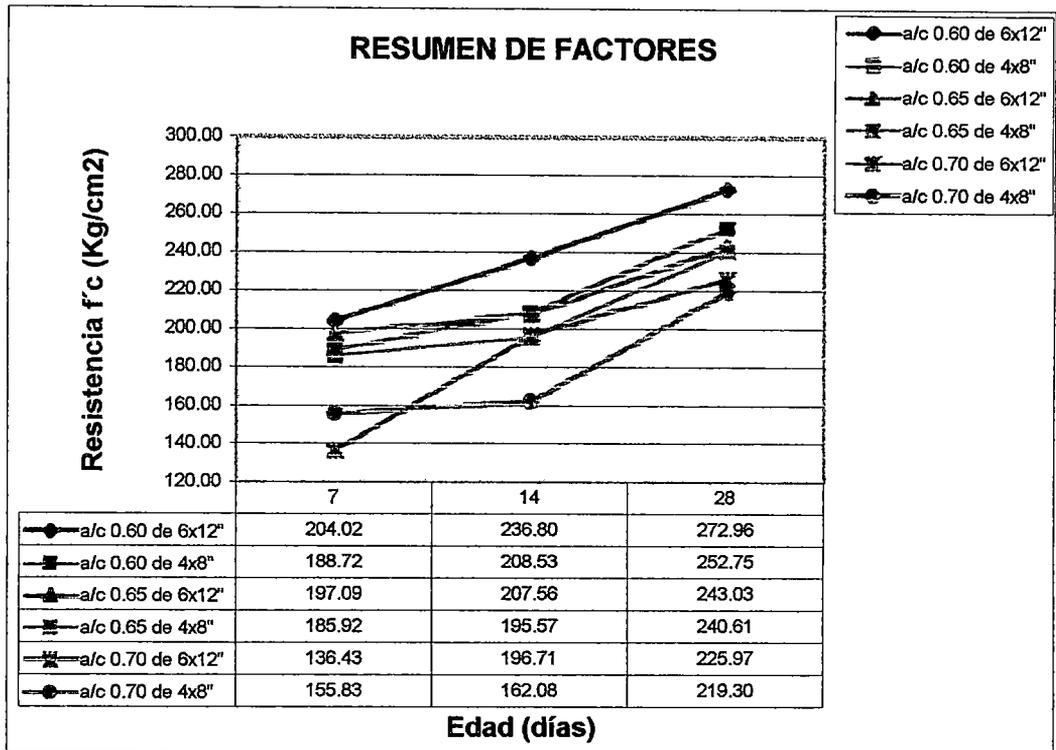
D: Resistencia de probetas 4x8" extrapolada a las resistencias 6x12".

7.2.5.2 Factor de relación de f_c (Kg/cm²)

Entre probetas de 6x12" y 4x8"

Edad	a/c 0.60			a/c 0.65			a/c 0.70		
	6x12"	4x8"	Factor Relación	6x12"	4x8"	Factor Relación	6x12"	4x8"	Factor Relación
7	204.02	188.72	1.081	197.09	185.92	1.060	136.43	155.83	0.876
14	236.80	208.53	1.136	207.56	195.57	1.061	196.71	162.08	1.214
28	272.96	252.75	1.080	243.03	240.61	1.010	225.97	219.30	1.030

7.2.5.3 Gráfico de Resumen de Factores.



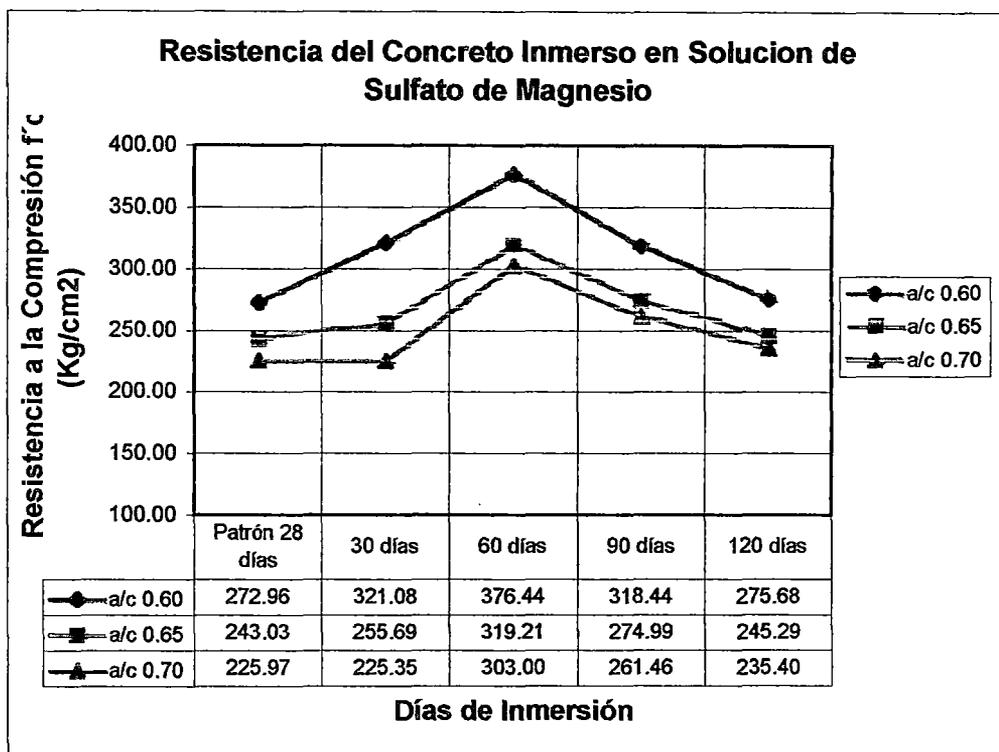
7.2.5.4 Resistencia de Concreto Inmerso en Solución de Sulfato de Magnesio 100 gr/lit.

Relación a/c	F_c (Kg/cm ²) Concreto Patrón 28 días	Días de Inmersión / f_c (Kg/cm ²)			
		30 días	60 días	90 días	120 días
0.60	272.96	321.08	376.44	318.44	275.68
0.65	243.03	255.69	319.21	274.99	245.29
0.70	225.97	225.35	303.00	261.46	235.40

Los valores de resistencia a la compresión a los 30, 60, 90 y 120 días ya han sido extrapolado a probetas 6x12".

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

7.2.5.5 Gráfico de Resistencia a la Compresión del concreto sumergido en solución de sulfato de magnesio.



7.2.5.6 Desarrollos Porcentuales:

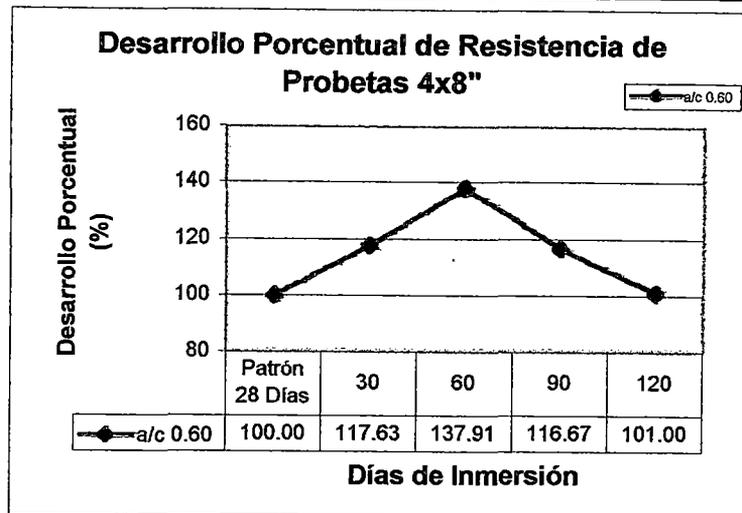
7.2.5.6.1.1 Desarrollo porcentual de la resistencia

Relación a/c 0.60.

Inmersas en sulfato de magnesio

Extrapoladas de probetas 4x8" a 6x12"

Días de Inmersión	Desarrollo Porcentual (%)
Patrón 28 días	100.00
30	117.63
60	137.91
90	116.67
120	101.00



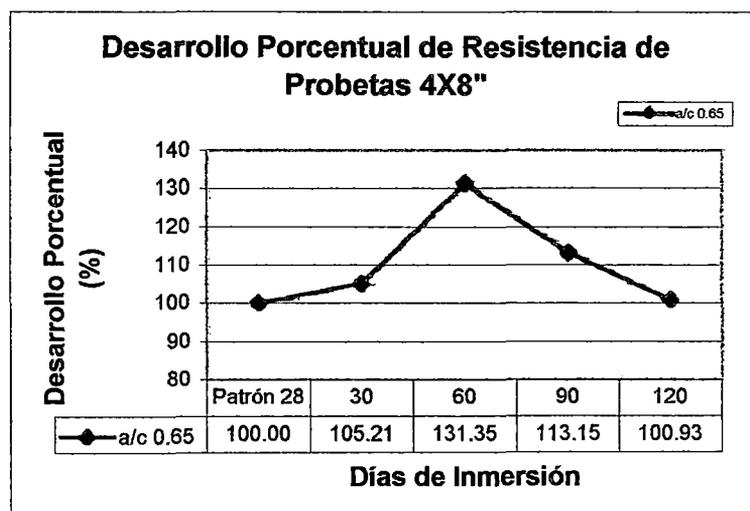
7.2.5.6.1.2 Desarrollo porcentual de la resistencia

Relación a/c 0.65.

Inmersas en sulfato de magnesio

Extrapoladas de probetas 4x8" a 6x12"

Días de Inmersión	Desarrollo Porcentual (%)
Patrón 28 días	100.00
30	105.21
60	131.35
90	113.15
120	100.93



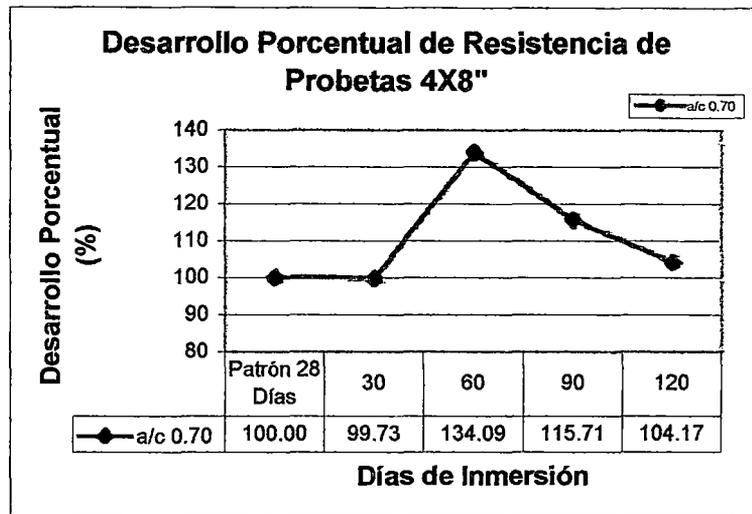
7.2.5.6.1.3 Desarrollo porcentual de la resistencia

Relación a/c 0.70.

Inmersas en sulfato de magnesio

Extrapoladas de probetas 4x8" a 6x12"

Días de Inmersión	Desarrollo Porcentual (%)
Patrón 28 días	100.00
30	99.73
60	134.09
90	115.71
120	104.17



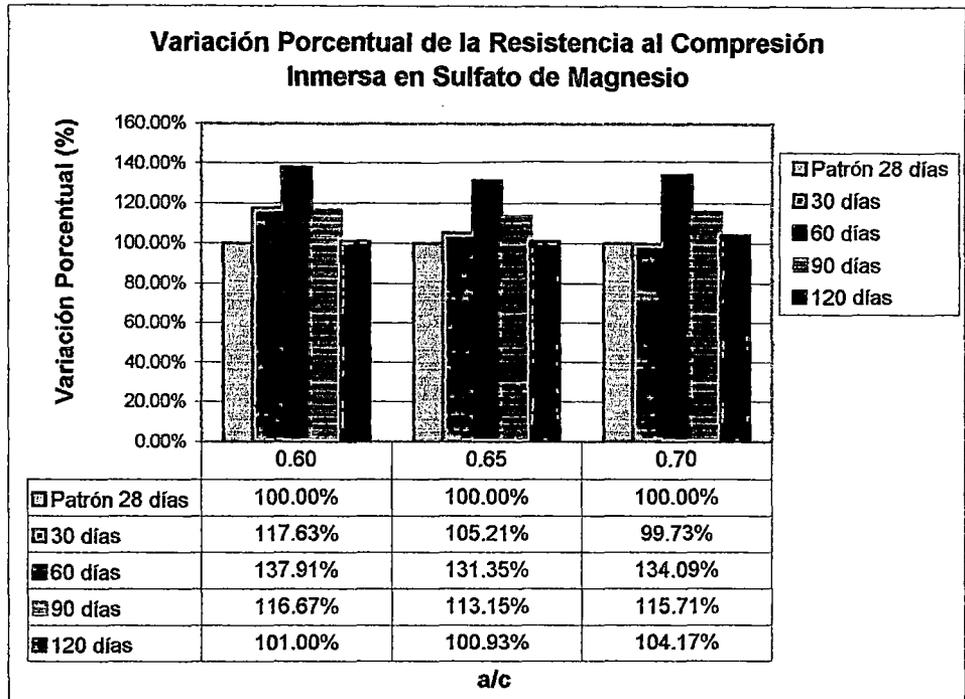
7.2.5.7 Cuadro y gráfico Comparativo:

Desarrollo porcentual de resistencia

Inmersas en sulfato de magnesio

Días	Relación a/c		
	0.60	0.65	0.70
Patrón 28 días	100.00%	100.00%	100.00%
30	117.63%	105.21%	99.73%
60	137.91%	131.35%	134.09%
90	116.67%	113.15%	115.71%
120	101.00%	100.93%	104.71%

COMPARACIÓN DE LAS VARIACIONES PORCENTUALES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION



Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

CAPITULO VIII

ACCIONES DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN ANTE EL PROCESO CORROSIVO

8.1 Introducción:

Puesto que el agua, los iones de sulfato y magnesio, las propiedades del concreto y las condiciones del terreno juegan papeles importantes en la corrosión del concreto, es obvio que la permeabilidad del concreto es la clave para controlar los variados procesos involucrados en el fenómeno.

Los parámetros de la mezcla de concreto para asegurar una baja permeabilidad, tales como una relación agua/cemento baja, un contenido adecuado de cemento, el control del tamaño del agregado y la granulometría y el uso de aditivos minerales y líquidos, se vienen estudiando ampliamente; a ese respecto la norma ACI 318 especifica una relación agua/cemento máxima de 0.40 para concretos expuestos a sustancias químicas y al agua de mar. Una compactación adecuada y un curado adecuado del concreto son igualmente esenciales.

El diseño de mezclas de concreto deberá también tomar en cuenta la posibilidad de un incremento de la permeabilidad en el servicio, debido a varias causas fisico-químicas tales como la acción del congelamiento, el ataque de distintas sales y la expansión álcali-agregado.

8.2 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA DISMINUIR O EVITAR LA ACCIÓN CORROSIVA SOBRE EL CONCRETO:

- a) Diseño adecuado de la estructura:
- Evitar el uso de secciones delgadas
 - Utilizar secciones con formas redondeadas eliminar, en lo posible, las aristas

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Portland Tipo I"

- Minimizar las áreas de contacto y las zonas de turbulencia

- b) Fabricar concreto compactos (de baja porosidad y permeabilidad), haciendo uso de todas las recomendaciones que brinda la tecnología del concreto:
 - Resistencia a compresión mínima ($f_c > 21.0$ MP)
 - Relaciones agua/cemento bajas (en caso de ataque fuerte, $a/c < 0.40$)
 - Penetración de agua según IRAM 1554 < 50 mm
 - Agregados apropiados y con granulometría adecuada (en los casos de ataque por ácido sulfúrico puede ser conveniente utilizar agregados calizos)
 - Contenidos apropiados de cemento (en general > 350 kg./m³)
 - Es recomendable la utilización de aditivos fluidificantes o superfluidificantes
 - Es recomendable la utilización de aditivos incorporadores de aire
 - Utilizar el mínimo asentamiento compatible con una buena colocación del concreto (< 15 cm)

- c) Emplear cementos idóneos (de modo de lograr pastas hidratadas de bajo contenido de CH)
 - Cementos con adiciones minerales activas de buena actividad puzolánica, que consuman el CH (hidróxido de Calcio) producido durante la hidratación de los silicatos
 - En los casos de ataque por ácido sulfúrico puede ser conveniente emplear adiciones minerales de naturaleza carbónica (cementos con filler calcáreo)
 - Cementos de baja relación SC3/SC2
 - SC3 = Silicato tricalcico
 - SC2 = Silicato bicalcico

- d) Someter al concreto a un curado adecuado (reducción de la porosidad y permeabilidad) antes de que entre en contacto con las aguas puras
- e) Fundamentalmente en el caso de que el ataque sea fuerte, se debe proteger a la estructura con una membrana, película o material impermeable, evitando el contacto del concreto con la solución agresiva
- f) En determinadas circunstancias, es posible recurrir al tratamiento de la solución agresiva para disminuir su poder disolvente o su acidez.

8.3 CONTROL DEL ATAQUE DE LOS SULFATOS

Según un informe de BRE digest, los factores que afectan el ataque de los sulfatos son:

- La cantidad y la naturaleza del sulfato presente.
- El nivel de agua freática y su variación con las estaciones.
- El flujo del agua subterránea y la porosidad del suelo.
- La forma de la concentración y
- La calidad del concreto.

Si no puede evitarse que el agua sulfatada llegue al concreto, la única defensa contra su ataque yace en el control del factor 5, como se analiza a continuación. Se observa que la velocidad del ataque en una estructura de concreto con todas sus caras expuestas el agua sulfatas, es menor si la humedad puede perderse por evaporación de una o más superficies. Por lo tanto los sótanos, las alcantarillas, los muros de contención y las losas sobre el suelo son los más vulnerables que las cimentaciones y los pilotes.

La calidad del concreto, específicamente una baja permeabilidad, es la mejor protección contra el ataque de los sulfatos. Un espesor adecuado del concreto, un alto contenido de cemento, una relación agua/cemento baja y una compactación y curado adecuados del concreto fresco, son entre otros,

los factores de importantes que contribuyen a la baja permeabilidad. En el caso de agrietamiento debido a la retracción por secado, la acción de congelamiento, la corrosión del refuerzo u otras causas, se puede proporcionar seguridad adicional por medio del uso de cementos resistentes a los sulfatos.

Los cementos Pórtland que contienen menos de 5% de C_3A (ASTM Tipo V), son suficientemente resistentes a los sulfatos en condiciones moderadas de ataque por sulfatos (es decir, cuando las reacciones que forman etringita son la consideración única). Sin embargo, cuando están involucradas concentraciones altas de sulfatos del orden de 1500 mg/litro o más (que están normalmente asociadas con la presencia de cationes de magnesio y de álcalis), el cemento Pórtland Tipo V puede no ser efectivo contra las reacciones de intercambio de cationes, que incluyen la formación de yeso, especialmente si el contenido de C_3S del cemento es alto. En estas condiciones, la experiencia muestra que los cementos que contienen potencialmente poco o ningún hidróxido de calcio, al hidratarse se comportan mucho mejor, por ejemplo, los cementos de alta alúmina, los cementos Pórtland con escoria del alto horno con más del 70 % de escoria y los cementos Pórtland puzolánicos con lo por lo menos 25 % de puzolana (puzolana natural, arcilla calcinada o ceniza volante de bajo calcio).

8.4 ACCIONES PREVENTIVAS:

Los costos de reparación y la sustitución de plataformas de puentes de concreto dañados por la corrosión tanto del concreto como del acero de refuerzo, se han convertido en un importante gasto de mantenimiento. Muchos contratistas y constructoras prefieren ahora el costo extra inicial de proporcionar una membrana impermeabilizante, o una gruesa sobrecapa de una mezcla de concreto impermeabilizante en las superficies nuevas o totalmente reparadas de elementos de concreto, de gran tamaño y de configuración plana.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

Las membranas a prueba de agua, generalmente prefabricadas y del tipo de lámina, se puede utilizar para proteger contra daño físico por superficie de desgaste de concreto asfáltico; teniendo en cuenta que su vida de superficie está limitada a la vida del concreto asfáltico que generalmente es de 15 años.

Una sobre capa de concreto a prueba de agua de 37.5 a 63 mm de espesor, proporciona una protección más durable a la penetración de fluidos agresivos a en los elementos de concreto que pueden estar reforzado o presforzado. Generalmente las mezclas empleadas para sobrecapas sonde bajo revenimiento, muy baja relación agua/cemento (lo cual es posible agregando un aditivo superfluidificante) y un alto contenido de cemento.

Los morteros de cemento Pórtland que contienen emulsiones de polímeros (látex) también presentan una impermeabilidad excelente y se han utilizado para sobrecapas, sin embargo los látex de tipo vinilideno del tipo cloruro son sospechosos de causar problemas de corrosión en algunos casos.

En el caso de recubrimiento de varillas de refuerzo constituyen otros tipos de procedimientos para evitar la corrosión y son más costosos que el producir un concreto de baja permeabilidad por medio de calidad, diseño y controles de construcción.

CAPITULO IX

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo el de determinar el grado de corrosión y el proceso corrosivo en el concreto de mediana a baja resistencia debido a la acción del sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lit.

Para lo cual se elaboró probetas de concreto de 4x8" para las relaciones agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70 empleando cemento Pórtland tipo I-Sol, con un porcentaje óptimo de arena y piedra de 48 y 52% respectivamente.

Dichas probetas fueron sometidas a ensayos de corrosión acelerados o de corto plazo, llámese ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso y ensayo de resistencia a la compresión de concreto inmerso en una solución de sulfato de magnesio.

Los materiales empleados adquiridos de proveedores conocidos como es el caso del agregado grueso y fino que procedieron de las canteras La Gloria y Trapiche respectivamente. Los ensayos correspondientes se realizaron en las instalaciones de Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.

Los estudios de las características físicas de los agregados se realizaron de acuerdo a la norma ITINTEC (400.037), teniendo:

- Características Físicas.

Los agregados fino (Arena) y grueso (piedra) tienen pesos específicos de 2.59 y 2.70 gr/cm³ respectivamente.

La granulometría de la piedra cumple con el huso N°67 de la norma ASTM C-33 y su módulo de finura fue de 7.39.

La granulometría de la arena cumple los límites C de la norma ASTM C-33 y su módulo de finura fue de 2.82.

Se elaboraron diseños de mezclas para las relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70 con un asentamiento de 3 a 4". En el diseño de mezcla se utilizó el método de agregado global el cual consiste en determinar el óptimo porcentaje de combinación de los agregados fino y grueso, este método del agregado global se

apoya de la misma manera en dos métodos para hallar dicho porcentaje, llámese método de compacidad y método de resistencia máxima. El porcentaje optimo resultante fue de 48% de arena y 52% de piedra.

Las propiedades del concreto endurecido (resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral) y del concreto fresco (asentamiento, fluidez, contenido de aire, exudación, peso unitario, tiempo de fraguado) para las relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70 fueron determinadas utilizando probetas de concreto 6x12".

En el concreto patrón se obtuvo los siguientes valores para la resistencia a la compresión:

$$f_c(0.60)_{28 \text{ días}} = 272.96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c(0.65)_{28 \text{ días}} = 243.03 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c(0.70)_{28 \text{ días}} = 225.97 \text{ Kg/cm}^2$$

En los ensayos de corrosión acelerada tanto para el ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso y el ensayo de resistencia a la compresión de muestras inmersas en una solución de sulfato de magnesio se utilizó probetas 4x8".

El avance de la corrosión en una estructura depende de las dimensiones de estas, es decir la visualización de los efectos de la corrosión se pueden contemplar mejor mientras mas pequeñas sean estos elementos de concreto, por tal razón se utilizó probetas 4x8" además de otras razones que se mencionan a continuación:

- La gran cantidad de probetas que se utiliza en los ensayos de humedecido y secado por pérdida de peso y en el ensayo de resistencia a la compresión obliga a utilizar estas probetas.
- Por la superficie de contacto entre la probeta y el agente agresivo.
- Sobre todo por el fácil traslado, manejo, maniobrabilidad y economía que brinda este tipo de probetas 4x8".

Un grupo de estas probetas 4x8" serán utilizadas para determinar la resistencia a la compresión en condiciones normales, esto para poder determinar un factor de extrapolación con las probetas del concreto patrón 6x12" y de esta manera poder extrapolar aquellas resistencia de probetas inmersas en sulfato de magnesio (de

diferentes edades 30, 60, 90 y 120 días) a resistencia de probetas 6x12", para realizar el análisis de los resultados en las mismas condiciones.

ENSAYOS DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO

Este ensayo se basa en un proceso destructivo acelerado producto de una reacción física-mecánica producido por la cristalización del las sales de sulfato dentro de la masa de concreto. En los distintos procesos corrosivos existen también distintos tipos de reacciones como química, mecánica, físico-mecánica y electroquímica que se produce en el concreto reforzado, en este ensayo se observa tan solo una reacción físico mecánico.

Es necesario para la adecuada realización de este ensayo la observación detallada de las manifestaciones físicas que se produce en la superficie de las muestras en cada ciclo de ensayo, tomando sus respectivas fotografías y anotando las variaciones mas resaltantes. Se procederá a realizar el pesado de las muestras para determinar la relación que existe entre estos pesos y sus variaciones con las manifestaciones físicas que se presentan en las probetas en cada ciclo de ensayo. Para este ensayo se elaboraron 30 muestras de probetas 4x8" para cada relación agua-cemento los cuales son 0.60, 0.65 y 0.70.

Para este tipo de ensayos se requiere un espacio adecuado que brinde la comodidad, seguridad, maniobrabilidad y versatilidad de los equipos y materiales que necesita para su realización, es decir por ejemplo que la poza de inmersión se encuentre cerca en distancia del horno de secado el cual debe ser lo suficientemente grande y permita el secado del mayor numero de muestras.

A). CUADRO DE RESULTADOS

RELACION a/c 0.60, 0.65 Y 0.70

Los cuadros 10.2.1, 10.2.2 y 10.2.3 han sido elaborados en base de los cuadros de máximos y mínimos valores los cuales son 7.1.11, 7.1.22 y 7.1.33, y son el fruto del monitoreo de las 30 probetas de las tres dosificaciones que estamos empleando a/c 0.60, 0.65 y 0.70.

Estos cuadros representan la frecuencia con el que los máximos y los mínimos valores de los pesos aparecen en un determinado ciclo de ensayo.

A-1). RANGO DE FRECUENCIA DEL MÁXIMO VALOR DEL PESO

En los cuadros siguientes se presenta la frecuencia con que el máximo valor del peso que aparece en determinado ciclo de ensayo.

10.2.1

a/c 0.60	
Ciclo Máx. valor	Frec.
Ciclo 1	4
Ciclo 2	3
Ciclo 3	1
Ciclo 5	5
Ciclo 8	15
Ciclo 9	1
Ciclo 11	1
Total prob	30

10.2.2

a/c 0.65	
Ciclo Máx. valor	Frec.
Ciclo 1	6
Ciclo 2	10
Ciclo 3	2
Ciclo 4	5
Ciclo 5	7
Total prob	30

10.2.3

a/c 0.70	
Ciclo Máx. valor	Frec.
Ciclo 1	12
Ciclo 2	17
Ciclo 3	1
Ciclo 10	1
Total prob	31

En los cuadros anteriores el máximo valor de peso se observa en forma general que ocurre en el rango del ciclo 1 al 7.

Relación a/c 0.60 ocurre en el rango del ciclo 3 al 8.

Relación a/c 0.65 ocurre en el rango del ciclo 1 al 5.

Relación a/c 0.70 ocurre en e rango del ciclo 1al 3.

A-2). RANGO DE FRECUENCIAS DEL MINIMO VALOR DEL PESO.

En los cuadros siguientes se presenta la frecuencia con que el mínimo valor del peso que aparece en determinado ciclo de ensayo.

10.2.4

a/c 0.60	
Ciclo Mín. valor	Frec.
Ciclo 1	5
Ciclo 2	1
Ciclo 3	7
Ciclo 5	1
Ciclo 14	16
Total prob	30

10.2.5

a/c 0.65	
Ciclo Mín. valor	Frec.
Ciclo 6	1
Ciclo 7	1
Ciclo 8	1
Ciclo 9	2
Ciclo 10	1
Ciclo 11	6

10.2.6

a/c 0.70	
Ciclo Mín. valor	Frec.
Ciclo 1	1
Ciclo 8	2
Ciclo 11	19
Ciclo 12	4
Ciclo 13	1
Ciclo 14	4

		Ciclo 12	9	Total prob	31
		Ciclo 13	5		
		Ciclo 14	4		
		Total prob	30		

En los cuadros anteriores se observa que el valor mínimo de peso en forma general ocurre en un rango del ciclo 10 al 14.

Relación a/c 0.60 ocurre en el rango del ciclo 13 al 14.

Relación a/c 0.65 ocurre en el rango del ciclo 11 al 14.

Relación a/c 0.70 ocurre en el rango del ciclo 11 al 13.

En los cuadros 7.1.11, 7.1.22 y 7.1.33 se muestra la relación de los máximos y mínimos valores para cada una de las muestras y el ciclo donde se produce estos valores, para cada una de las dosificaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70.

MÁXIMOS Y MÍNIMOS VALORES DEL PESO

10.2.7

Relación a/c	Valores del Peso		Variación
	Máximo	Mínimo	
0.60	4020	3985	35
0.65	4015	3965	50
0.70	4025	3940	85

Los valores que se han obtenido tanto máximos como mínimo para cada relación agua-cemento se determinaron teniendo en cuenta los cálculos estadísticos necesarios como desviación estándar, la frecuencia y la tendencia a la que se orientaban ciertos valores en las muestras de ensayo.

B). GRAFICOS CORRESPONDIENTES A LA RELACIÓN a/c 0.60

B-1). GRAFICOS VARIACIÓN DE PESO POR CICLO DE ENSAYO

Como en las anteriores dosificaciones se tomaron 30 probetas para elaborar los gráficos correspondientes los cuales se pueden apreciar en el Anexo B.7.1 al B.7.6. cada uno de estos gráficos representan a 5 muestras.

El número de ciclos que duró este proceso corrosivo realizado mediante el ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso fue de 17 ciclos de ensayo.

En estos gráficos se puede observar el incremento de peso hasta alcanzar el máximo valor de peso el cual se da en el rango del ciclo 5 al ciclo 8, si comparamos con los resultados de las anteriores dosificaciones aquí el máximo valor de peso no se da en los cinco primeros ciclos de ensayo sino a la mitad aproximadamente del total de ciclos de ensayo. Este incremento no es constante si no muy variado lo que refleja una sinuosidad para alcanzar este máximo valor. Luego se viene una etapa de decrecimiento casi constante con algunas irregularidades que termina hasta alcanzar el mínimo valor de peso el cual se da entre el ciclo 13 y el ciclo 17, en donde se produce la fisuración de la probeta.

En esta dosificación a/c 0.60 tiene por característica que para alcanzar ese máximo valor se tiene que esperar más ciclos que en las anteriores dosificaciones y su recorrido es muy irregular, para mayor ilustración se presenta el esquema N°01.

Al parecer en esta dosificación a/c 0.60 la saturación de los poros y posterior cristalización de las sales tarda aun más que en las anteriores dosificaciones.

En los gráficos se observa que las probetas tienen un incremento de peso final (ciclo 17) con respecto al ciclo inicial (ciclo 1) el cual es 18 gr. (Ver anexo B.7.1). El máximo valor de peso oscila en el rango de 4070 a 3945 gr.

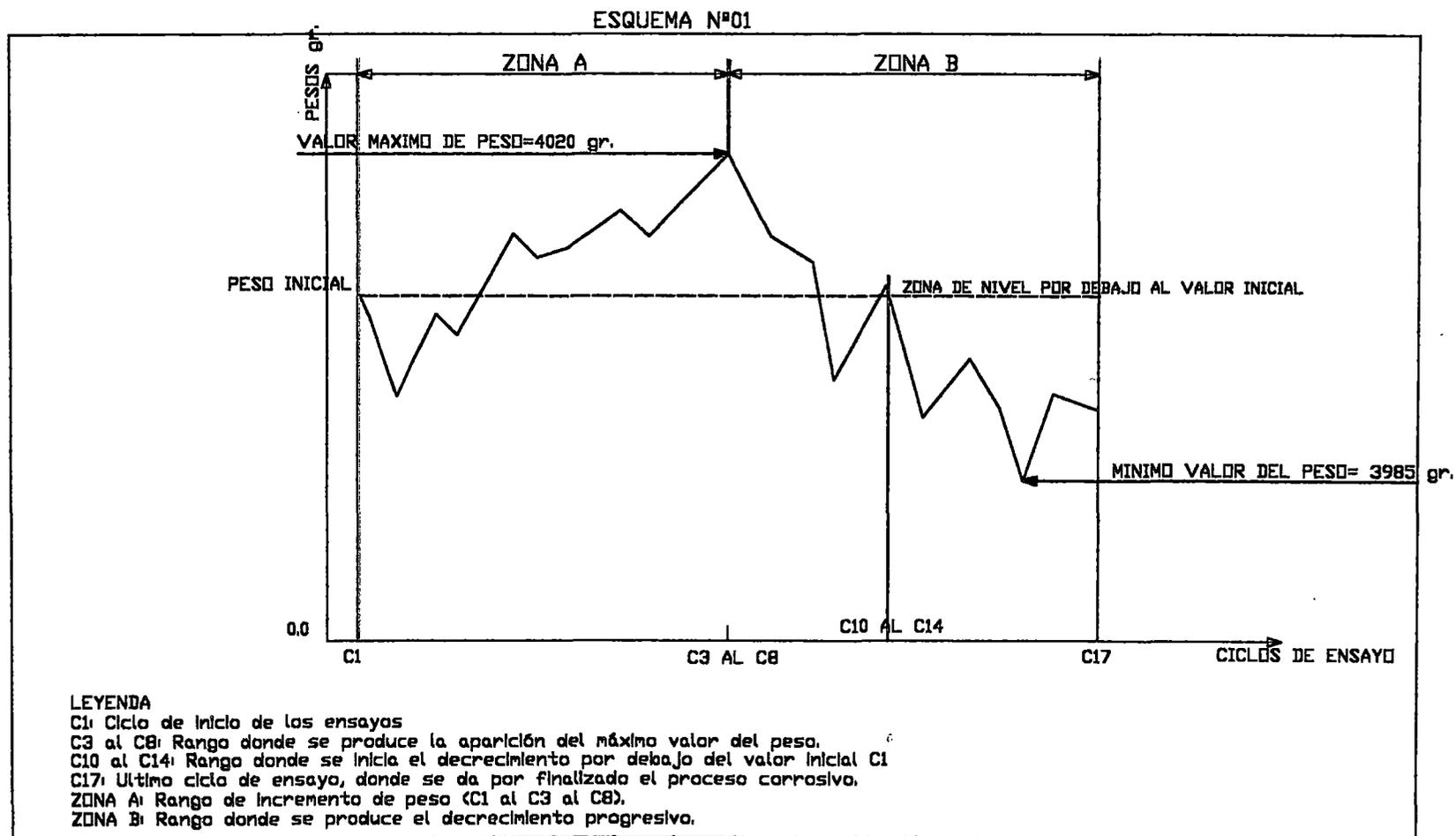
B-2). GRAFICO DE VARIACIÓN DE PESO CONSECUTIVO POR CICLOS DE ENSAYO.

Gráfico 7.1.11 al 7.1.20.

Los datos con los cuales se han elaborado los gráficos correspondientes se pueden apreciar en los cuadros N°7.1.5, 7.1.6 y 7.1.7, en la representación de estos gráficos se tomo los valores de 30 muestras ensayadas.

En el cuadro N°10.2.8 se observa que los pesos se encuentran dentro del rango de máxima variación positiva (+) de 13.7gr. y máxima variación negativa(-) de 10.8 gr. Estos valores de máxima variación positiva y negativa fueron tomados teniendo en cuenta la desviación estándar, frecuencia y tendencia de estos valores.

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0,60



Cuadro N° 10.2.8

Relación a/c 0.60

Muestra	Variación del peso (gr)		Muestra	Variación del peso (gr)	
	Máxima (+)	Mínima (-)		Máxima (+)	Mínima (-)
M1	11.5	-11.0	M16	22.0	-17.0
M2	7.0	-9.0	M17	17.0	-33.5
M3	16.0	-26.5	M18	13.0	-6.0
M4	24.0	-34.0	M19	15.5	-20.0
M5	12.0	-5.0	M20	5.0	-7.0
M6	16.5	-9.5	M21	4.0	-7.0
M7	11.5	-12.0	M22	16.5	-17.5
M8	17.5	-16.0	M23	12.0	-16.0
M9	12.0	-6.0	M24	11.5	-7.0
M10	6.5	-8.5	M25	21.0	-35.0
M11	14.0	-9.0	M26	12.5	-10.5
M12	8.5	-14.0	M27	12.5	-8.5
M13	10.5	-12.5	M28	21.5	-11.0
M14	15.5	-28.0	M29	13.5	-7.5
M15	12.5	-5.5	M30	23.5	-10.0

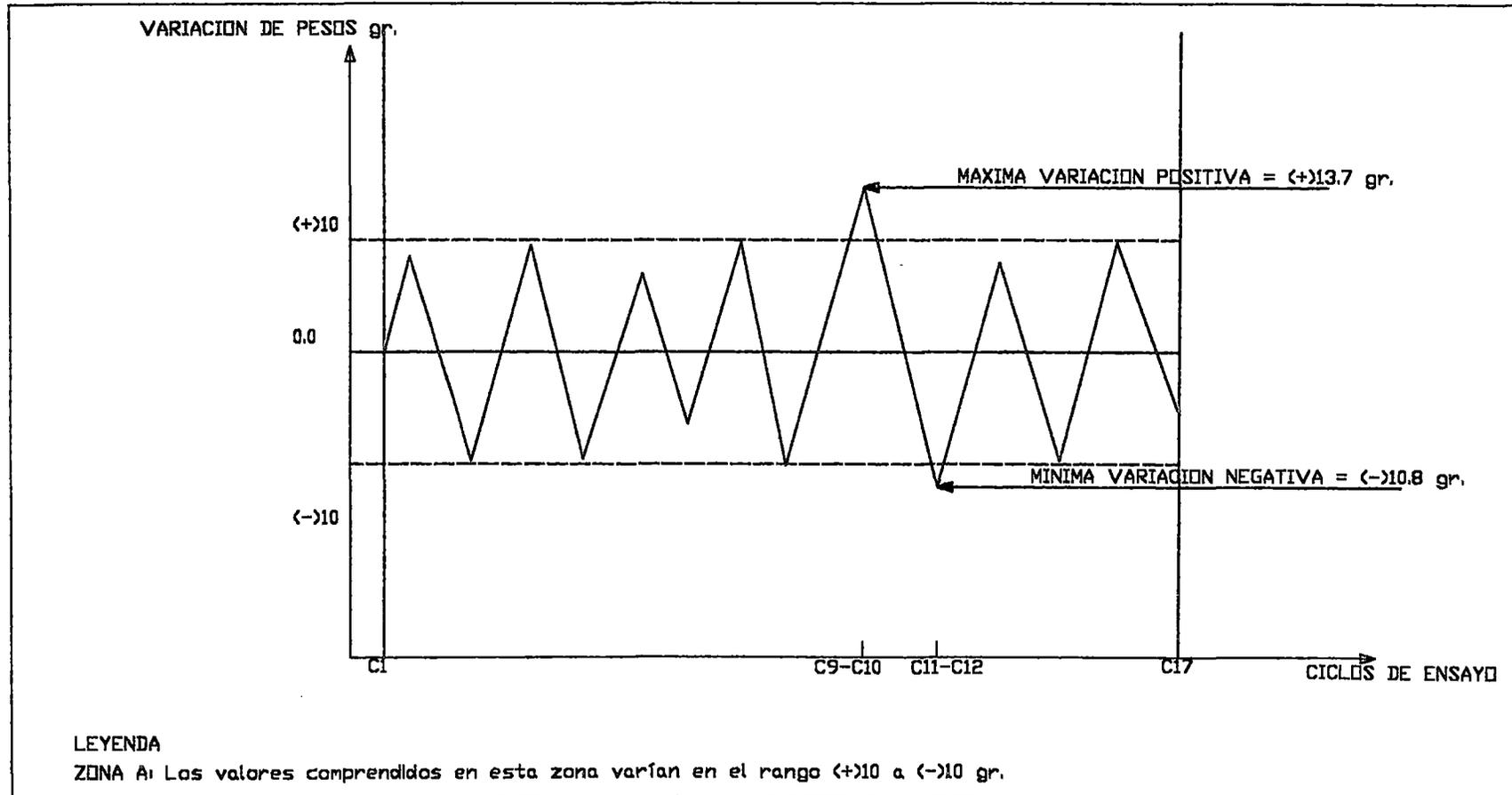
La mayor parte de los valores que se presentan en los gráficos se encuentran dentro rango positivo (+) de 10 gr. a negativo (-) de 10 gr. a excepción de los puntos máximos. Para apreciarlo mejor se presenta el esquema N°02.

Como a sido una constante en otras dosificaciones en esta también se presentan grandes desfases especialmente en los valores positivos, con muchas irregularidades que han hecho característico la variación de pesos consecutivos en las probetas producto de la acción del sulfato de magnesio. La aparición del máximo valor positivo y mínimo valor negativo del peso se produce en el ciclo 8 y 9 respectivamente, es precisamente en este intervalo donde se inicia el decrecimiento, después de haber alcanzado el máximo valor de peso, que se observa en los gráficos B.7.1 al B.7.6, este decrecimiento proseguirá hasta alcanzar el mínimo valor de peso. Por tanto

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.60

ESQUEMA N°02



la penetración de sales de sulfato en el concreto se ha producido de manera gradual, debido a la sinuosidad que se presenta en los gráficos.

B-3). VARIACION DEL PESO ACUMULADO POR CICLOS DE ENSAYO.

Gráficos 7.1.1 al 7.1.10.

Estos gráficos nos ayudan a visualizar de mejor manera que los presentados en el ítem B-1, hay que mencionar que esta dosificación a diferencia de los dos anteriores, no se produce una estabilización una vez alcanzado el máximo valor y producirse el decrecimiento, por lo que todo este proceso de pérdida de peso transcurre en el rango del máximo valor y mínimo valor, esta pérdida de peso una vez que alcanzado el punto de saturación consolida el proceso de corrosión manifestado en la fisuración de las probetas, el porcentaje de peso acumulado máximo esta en el rango de 0.26 a 0.30%.

B-4). PERDIDA DE PESO ACUMULADO (%) POR CICLO DE ENSAYO.

Gráfico 7.1.21 al 7.1.30.

Se puede apreciar en los gráficos la pérdida de peso después de haber alcanzado el máximo valor de peso.

La pérdida acumulada máxima varía dentro del rango de (-0.5)% a (-1)% con respecto al máximo valor.

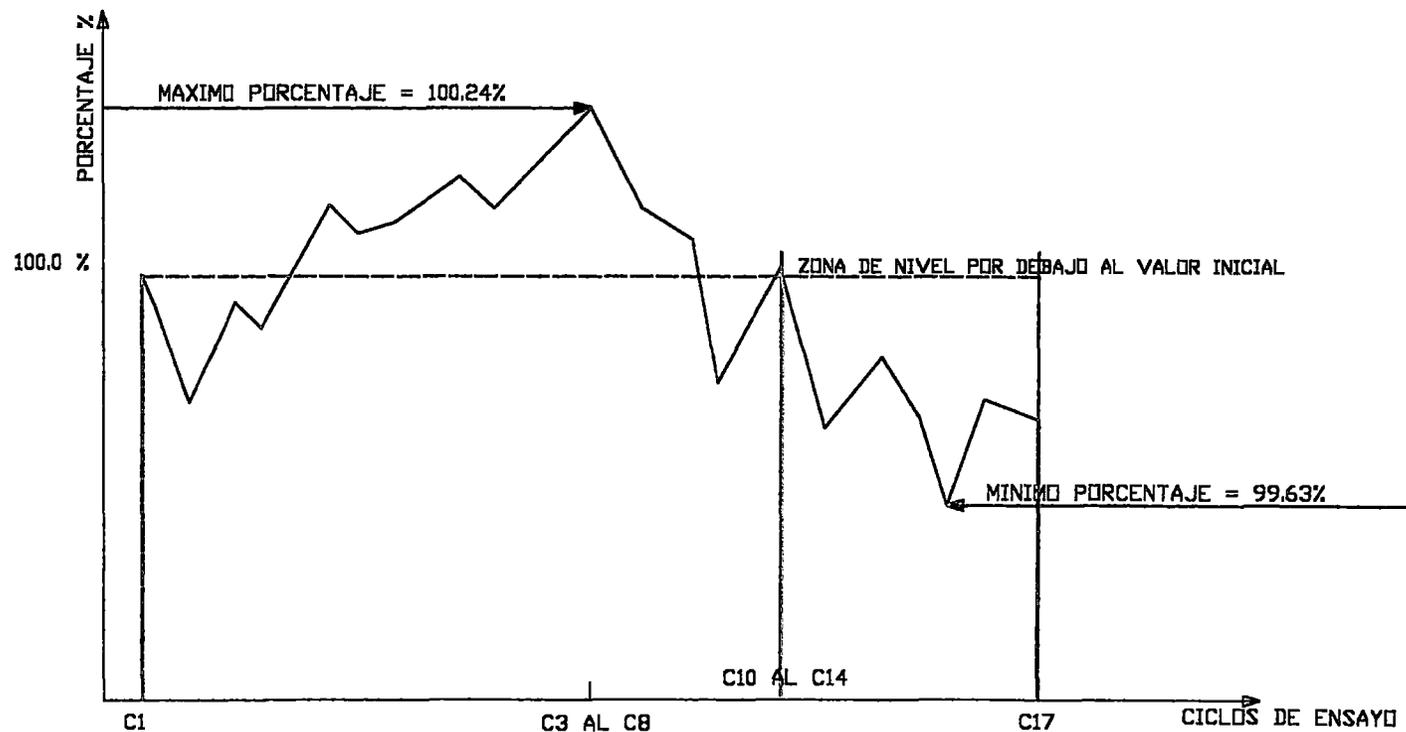
La pérdida acumulada final en el último ciclo de ensayo (ciclo17) varía en el rango del (-0.40)% al (-0.9)% donde las sales de sulfato representan 16.08 y 36.18 gr. aproximadamente.

En los Esquemas N°03 y 04, se presenta la pérdida y aumento de peso en alguno de los ciclos de ensayo.

El Esquema N°03 es muy similar al esquema del ítem B-1, el cual representa la variación porcentual de los pesos cuya característica principal para esta dosificación es que el porcentaje máximo con respecto al peso del primer ciclo es de 100.24% y el porcentaje mínimo es de 99.63%, este esquema se basa en los cuadros B.7.2 al B.7.4, que se encuentran en el anexo B; estos gráficos son muy similares a los gráficos de Variación de Peso Acumulado que se mencionan en ítem B-3, los ciclos donde se

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.60

ESQUEMA N°03

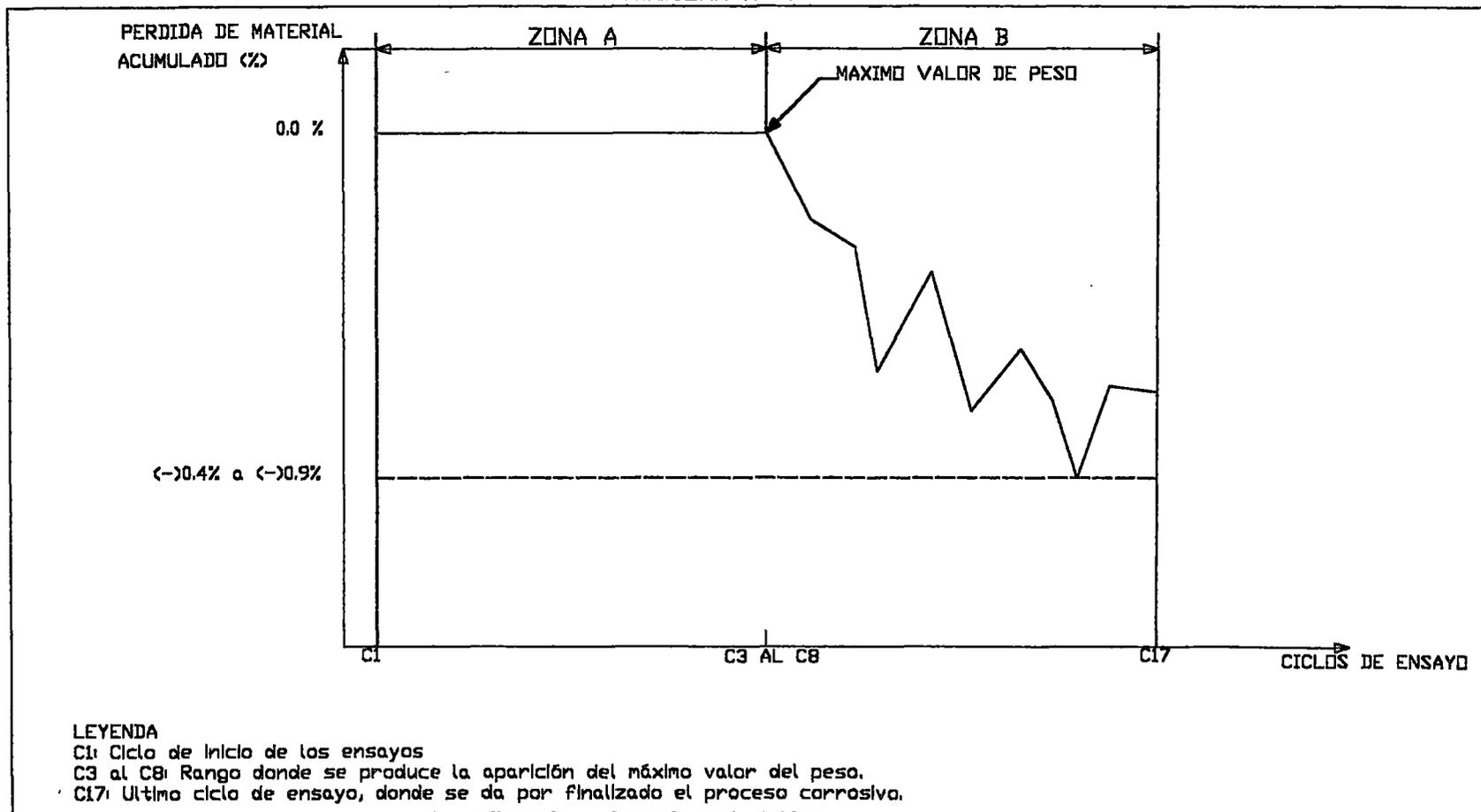


LEYENDA

- C1: Ciclo de inicio de los ensayos
- C3 al C8: Rango donde se produce la aparición del máximo valor del peso.
- C10 al C14: Rango donde se inicia el decrecimiento por debajo del valor inicial C1.
- C17: Último ciclo de ensayo, donde se da por finalizado el proceso corrosivo.

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.60

ESQUEMA N°04



producen estos mínimos y estos máximos porcentajes son los mismos que se mencionan en el ítem B-1.

Lo más resaltante de este esquema para el análisis es mostrar la zona de destrucción progresiva, el cual se inicia en el ciclo 10 al 13, en dicha zona ya no se muestra indicios de un aumento significativo de peso.

Si comparamos nuestras gráficas con el esquema N°05 que representa la destrucción total de la probeta en nuestro caso se trata de un proceso corrosivo dado por la fisuración.

C). GRAFICOS CORRESPONDIENTES A LA RELACION a/c 0.65

C-1). Gráficos Variación de Peso por Ciclo de Ensayo.

Para la elaboración de estos gráficos se tomo los pesos de cada una de las 30 probetas ensayadas en cada ciclo de ensayo y cada uno de estos gráficos representan a 5 muestras ensayadas. Estos gráficos se encuentran en el anexo B.7.7 al B.7.12.

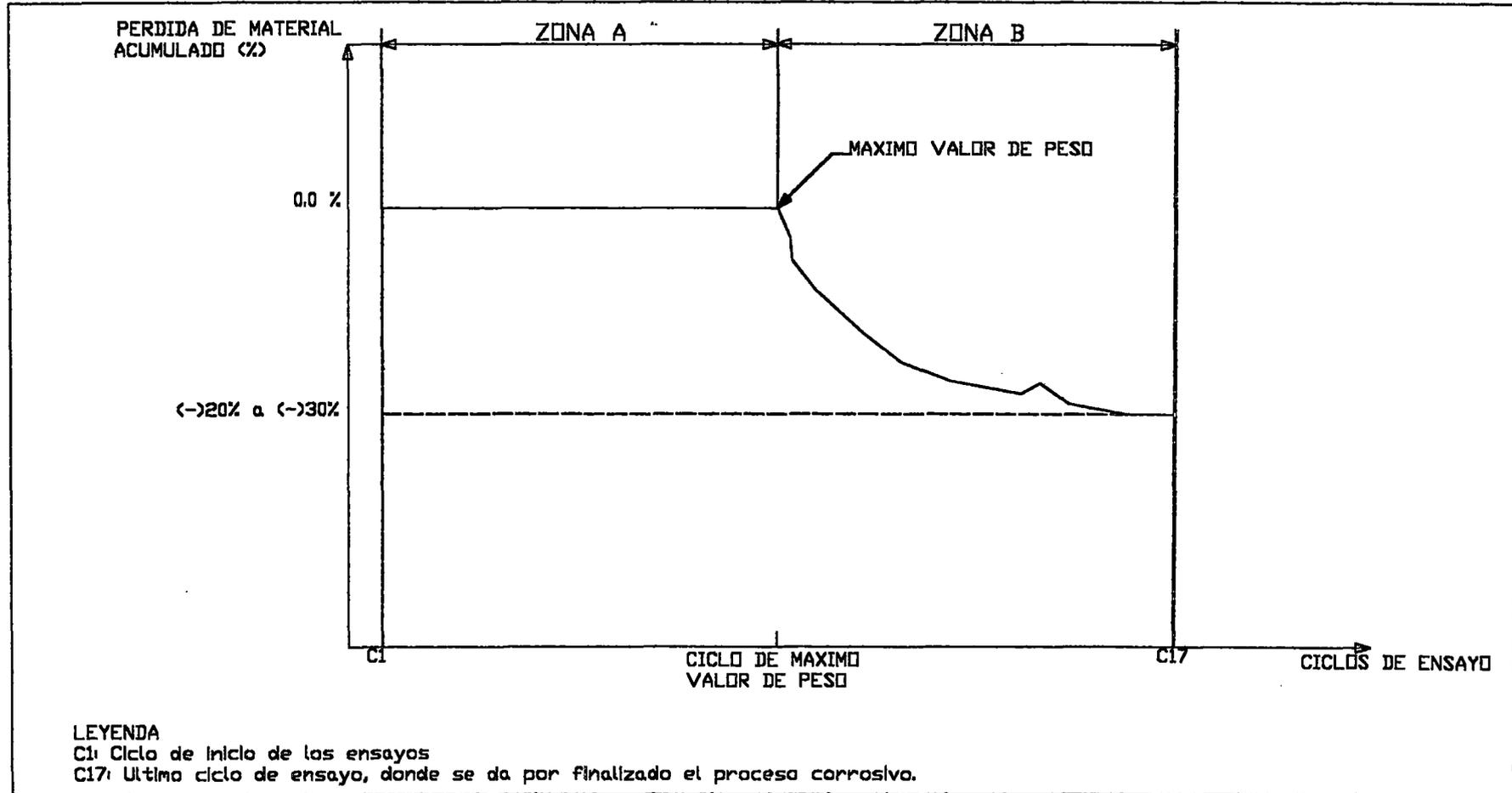
El número de ciclos que duró este proceso corrosivo para esta relación a/c 0.65, mediante este ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso fue de 16 ciclos de ensayo.

En los gráfico mencionados se puede apreciar un incremento rápido del peso en los ciclos de ensayo hasta alcanzar el máximo valor del peso, el cual se da prácticamente en los ciclos iniciales, en el rango del ciclo 1 al ciclo 5. Una vez alcanzado este máximo valor del peso se produce un proceso de tendencia a un decrecimiento paulatino y casi constante del peso, con su disminución y aumento de peso pero con una tendencia decreciente, esta variación en peso se desarrolla entre el máximo valor y el mínimo valor, hasta alcanzar cierta estabilidad.

La tendencia del gráfico a partir del máximo valor producido en los primeros ciclos es un decrecimiento paulatino hasta estabilizarse este decrecimiento haciéndose más suave hasta llegar al ciclo final, tan solo se produce un decrecimiento brusco en uno de los tres últimos ciclos (en el cual se produce el mínimo valor), el ciclo final se produce en ciclo 16 en el cual se visualiza la fisuración de la probeta.

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0,60

ESQUEMA N°05



En el gráfico se puede apreciar un incremento rápido para alcanzar el máximo valor del peso en los primeros ciclos de ensayo, esto en la dosificación a/c 0.65, si lo comparamos con las otras dosificaciones afirmaremos que esta tendencia al incremento rápido se manifiesta en las otras dosificaciones con algunas diferencias.

Para una mayor ilustración se muestra el esquema N°06. Por lo tanto se puede manifestar que el rápido incremento de peso se origina por la también rápida penetración de las sales en los poros microscópicos de la probeta, esta actividad termina hasta la saturación y acumulación de las sales que origina el máximo valor de peso en la probeta. Según el gráfico se produce un decrecimiento paulatino del peso debido a que las sales ya saturaron la probeta luego de la evaporación del agua de la solución de sulfato de magnesio durante la realización del ensayo, las sales sin agua se cristalizan y comienzan a expandirse produciendo tensiones, presiones y el inicio del agrietamiento que se manifiesta con las primeras fisuras en las muestras.

En los gráficos se observa que las muestras tienen un incremento de peso final (ciclo 16) con respecto al peso inicial (ciclo 1) el cual es 52 gr. (detalle del calculo en el Anexo B.7.10). El máximo valor del peso oscila dentro del rango de los valores 3955 a 4070 gr.

C-2). GRAFICO DE VARIACIÓN DE PESO CONSECUTIVO POR CICLO DE ENSAYO

Grafico 7.1.42 al 7.1.51

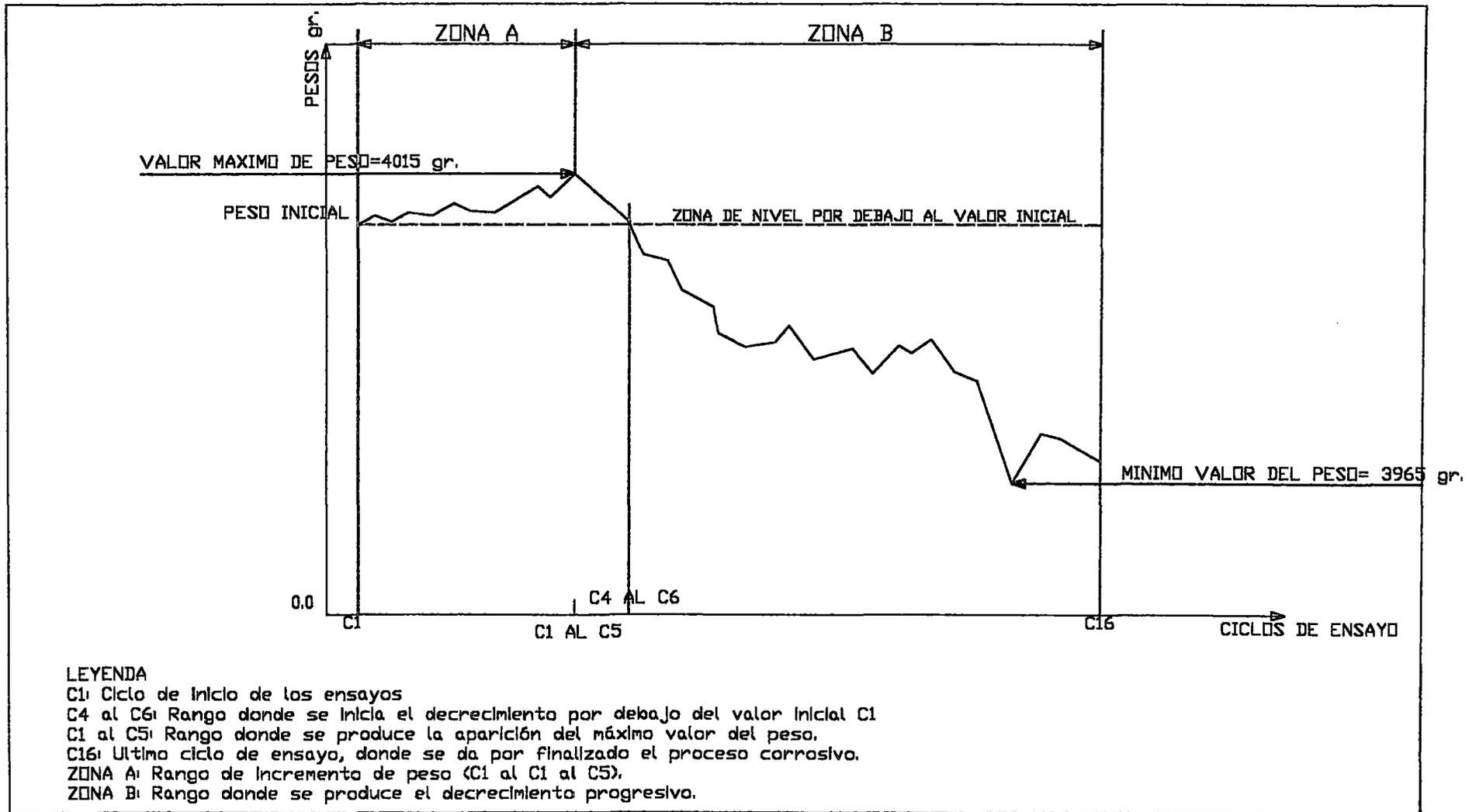
Los valores tomados para la elaboración de estos gráficos, son los valores de variación de peso de dos ciclos consecutivos, tanto los positivos como los negativos, los cuales representan la perdida o el aumento de peso de las probetas en los ciclos de ensayo.

Estos valores se pueden apreciar en los cuadros 7.1.16, 7.1.17 y 7.1.18; los gráficos fueron elaborados teniendo como base las 30 probetas ensayadas en cada grafico se representa tres muestras.

Se muestra ahora el cuadro 10.2.9 los pesos que se encuentran dentro del rango de la máxima variación positiva (+) de 13 gr. y máxima variación negativa

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.65

ESQUEMA N°06



de 28 gr. Los valores de máxima variación positiva y negativa han sido tomados teniendo en cuenta la desviación estándar, frecuencia y la tendencia hacia estos valores.

Cuadro N° 10.2.9

Relación a/c 0.65

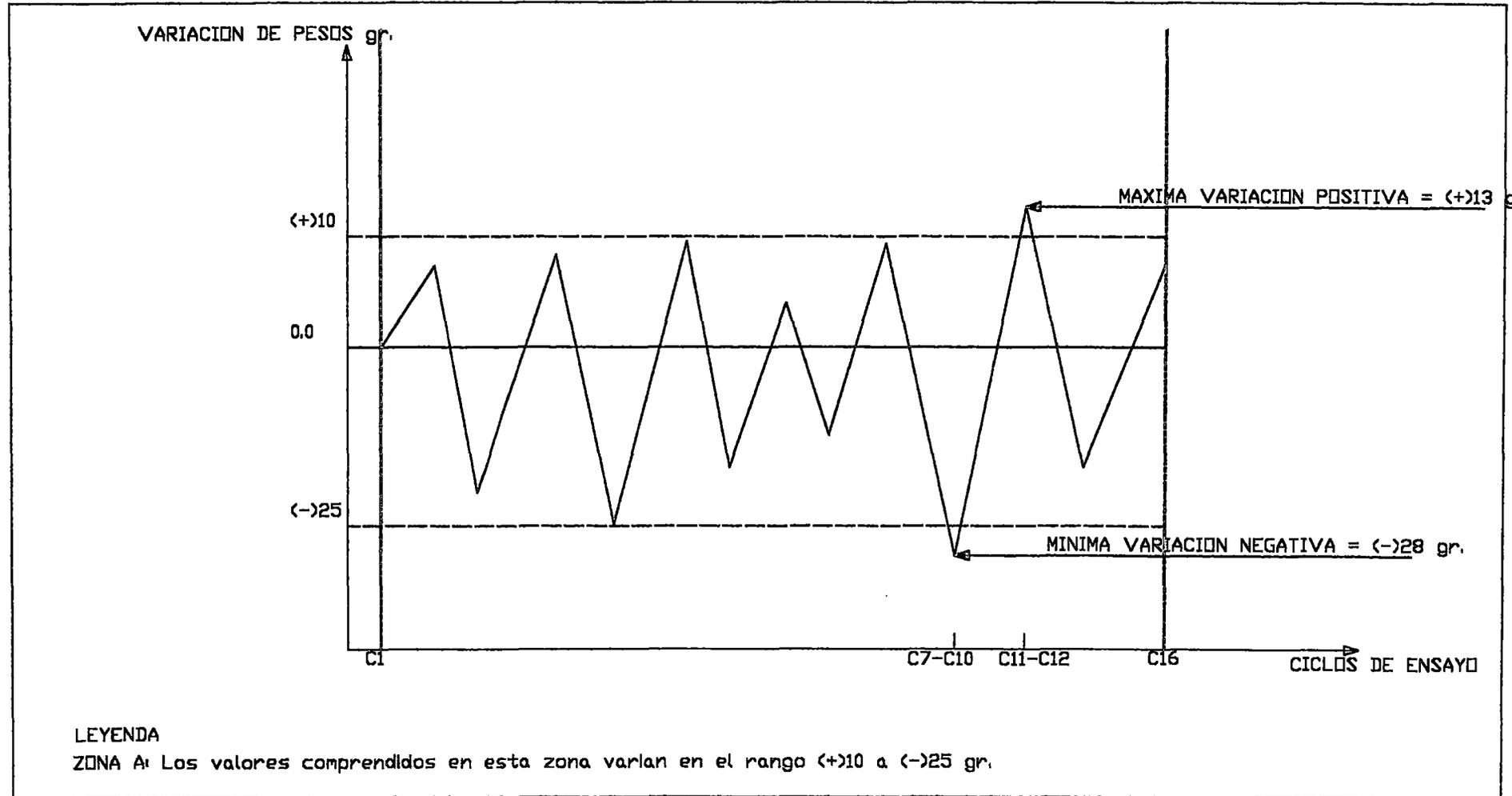
Muestra	Variación del peso (gr)		Muestra	Variación del peso (gr)	
	Máxima (+)	Mínima (-)		Máxima (+)	Mínima (-)
M1	8.5	-17.5	M16	7.5	-14.5
M2	10.0	-23.5	M17	11.0	-13.0
M3	17.5	-43.0	M18	14.5	-40.5
M4	11.0	-27.0	M19	7.5	-24.5
M5	12.0	-41.5	M20	19.0	-19.5
M6	7.0	-24.5	M21	18.5	-46.0
M7	7.5	-13.5	M22	6.0	-11.5
M8	7.5	-23.0	M23	10.0	-30.0
M9	8.5	-14.0	M24	28.5	-39.5
M10	20.5	-44.0	M25	20.5	-45.5
M11	21.0	-34.5	M26	13.0	-32.0
M12	19.5	-14.5	M27	13.0	-22.5
M13	12.5	-27.5	M28	17.0	-38.5
M14	18.5	-55.5	M29	17.0	-22.5
M15	10.5	-28.0	M30	8.0	-23.5

Gran parte de los valores que se presentan en los gráficos, que han servido de base para este análisis, se encuentran dentro del rango de valor positivo (+) 10 gr. a un valor negativo de 25 gr., claro esta no teniendo en cuenta a los valores máximos positivos(+) y negativos(-) de variación de pesos. Para una mejor visualización observar es Esquema N°07.

Se observa en estos gráficos que las variaciones no son muy constantes por lo contrario se presentan grandes saltos y valores disparados especialmente en los valores máximos negativos(-) que presentan una gran variación con respecto a los demás valores, la variación de dos ciclos consecutivos es muy irregular.

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.65

ESQUEMA N°07



La aparición del máximo valor positivo (+) y del mínimo valor negativo (-) se produce en el ciclo 12 y 10 respectivamente; los gráficos B.7.7 al B.7.12 ayudan a visualizar mejor este análisis, en este intervalo se produce la disminución significativa en el peso de la probeta luego de alcanzar rápidamente en los primeros ciclos el máximo valor del peso. Se afirma por lo tanto que la penetración de las sales de sulfato de magnesio en los poros del concreto se ha producido de una manera irregular debido a las grandes alteraciones que se presenta en los gráficos que nos han servido para este análisis.

C-3). VARIACIÓN DE PESO ACUMULADO POR CICLO DE ENSAYO.

Gráficos 7.1.32 al 7.1.41.

Estos gráficos nos representan valores de pesos expresados porcentualmente y acumulados, en realidad son muy semejantes a los gráficos que se presentan en el ítem C-1 (Variación de pesos). En estos gráficos los porcentajes máximos de peso acumulado coincide con el ciclo donde aparece con el que se produce en los máximo valores de peso, a partir de este máximo porcentaje acumulado se produce un decrecimiento paulatino con una estabilización posterior, se puede afirmar que es en este momento donde se inicia el proceso de fisuración de las probetas ensayadas, el porcentaje de peso acumulado máximo esta en el rango de 0.12 a 0.15%.

C-4). PERDIDA DE PESO ACUMULADO (%) POR CICLO DE ENSAYO.

Gráficos 7.1.52 al 7.1.61.

Los gráficos antes mencionados fueron desarrollados a partir de la pérdida de peso de las probetas tomando como referencia e iniciándolo desde el máximo valor del peso, estos valores están expresados en porcentaje de peso acumulado.

En estos gráficos se puede apreciar de manera clara la pérdida de peso una vez haber alcanzado el máximo valor del peso, mostrándose también una ligera estabilización de este decrecimiento en los ciclos finales.

La pérdida acumulada máxima varía dentro del rango de (-1)% a (-2)% con respecto al máximo valor.

La pérdida porcentual acumulada final en el último ciclo de ensayo (ciclo 16) varía en el rango del (-0.9)% al (-1.4)% donde las cuales representan 36.14 gr. y 56.21gr. aproximadamente.

En los gráficos mostrados en los diferentes ítems anteriores, estos no solo representan la pérdida de peso sino también el incremento de peso en algunos ciclos de ensayo tal como se aprecia en los esquemas N°08 y 09, manifestando la dualidad que existe en este ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso.

El Esquema N°08 es muy similar al esquema del ítem B-1, el cual representa la variación porcentual de los pesos cuya característica principal para esta dosificación es que el porcentaje máximo con respecto al peso del primer ciclo es de 100.09% y el porcentaje mínimo es de 98.79%, este esquema se basa en los cuadros B.7.5 al B.7.7, que se encuentran en el anexo B; estos gráficos son muy similares a los gráficos de Variación de Peso Acumulado que se mencionan en el ítem C-3, los ciclos donde se producen estos mínimos y estos máximos porcentajes son los mismos que se mencionan en el ítem C-1.

Lo más resaltante de este esquema para el análisis es mostrar la zona de destrucción progresiva, el cual se inicia en el ciclo 4 al 6, en dicha zona sólo se produce decrecimiento por debajo del valor de 100% en donde ya no se muestra indicios de un aumento significativo de peso.

En los ensayos realizados no esperamos la destrucción total ni el desprendimiento de material ya que los ciclos de ensayo se extenderían aun más de lo que se ha desarrollado; por lo tanto podemos afirmar que el proceso de corrosión que se da para esta dosificación a/c 0.65 se ha manifestado con la fisuración y el agrietamiento ligero casi imperceptible que sufre la probeta y no se ha denotado una pérdida exagerada de material, ya que si se hubiera tratado de una pérdida considerable de material el gráfico que hemos analizado en el ítem B-4 sería de acuerdo o similar al esquema N°10.

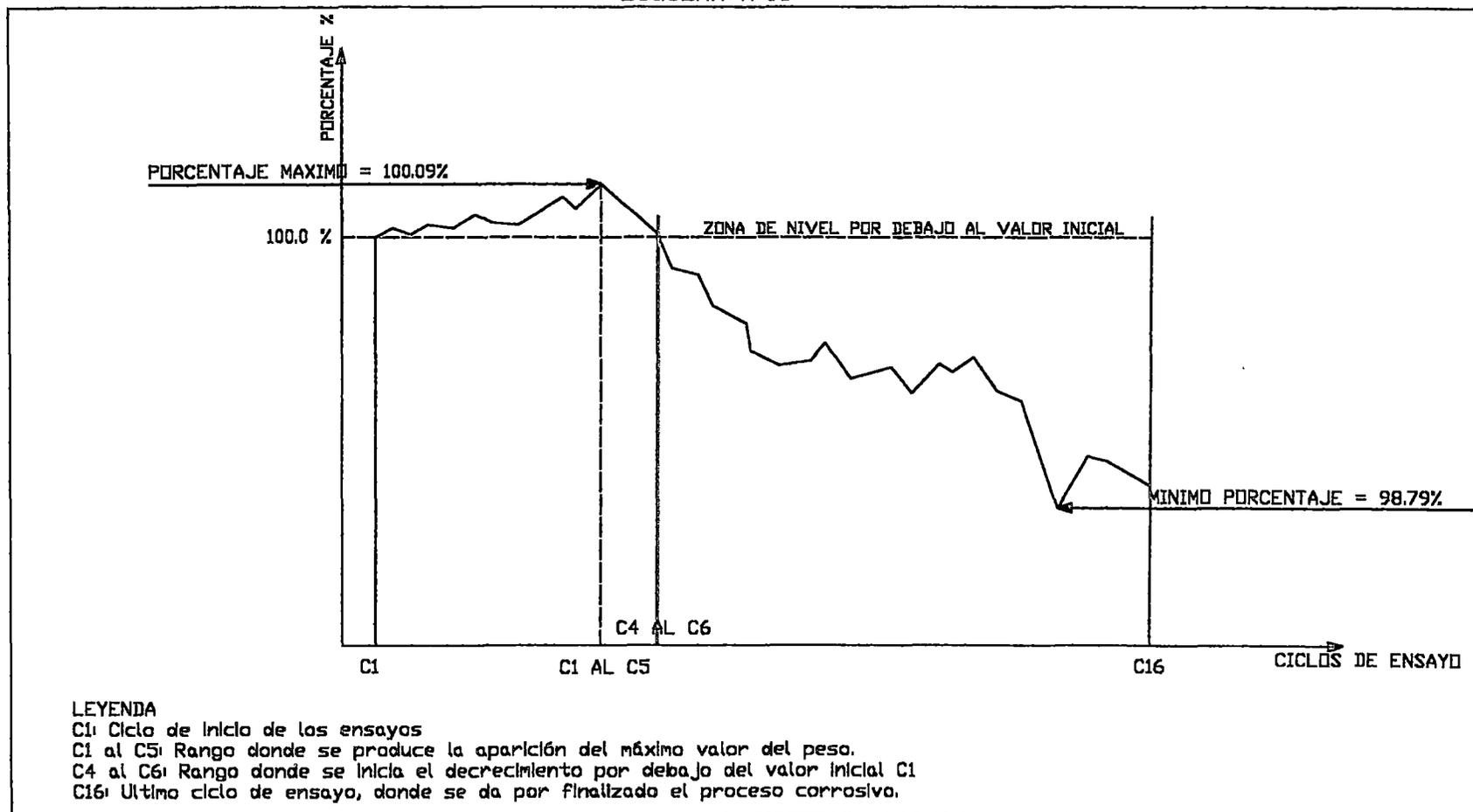
D). GRÁFICOS CORRESPONDIENTES A LA RELACION a/c 0.70

D-1). GRÁFICOS VARIACIÓN DE PESO POR CICLO DE ENSAYO.

Gráficos en el anexo B.7.13 al B.7.18.

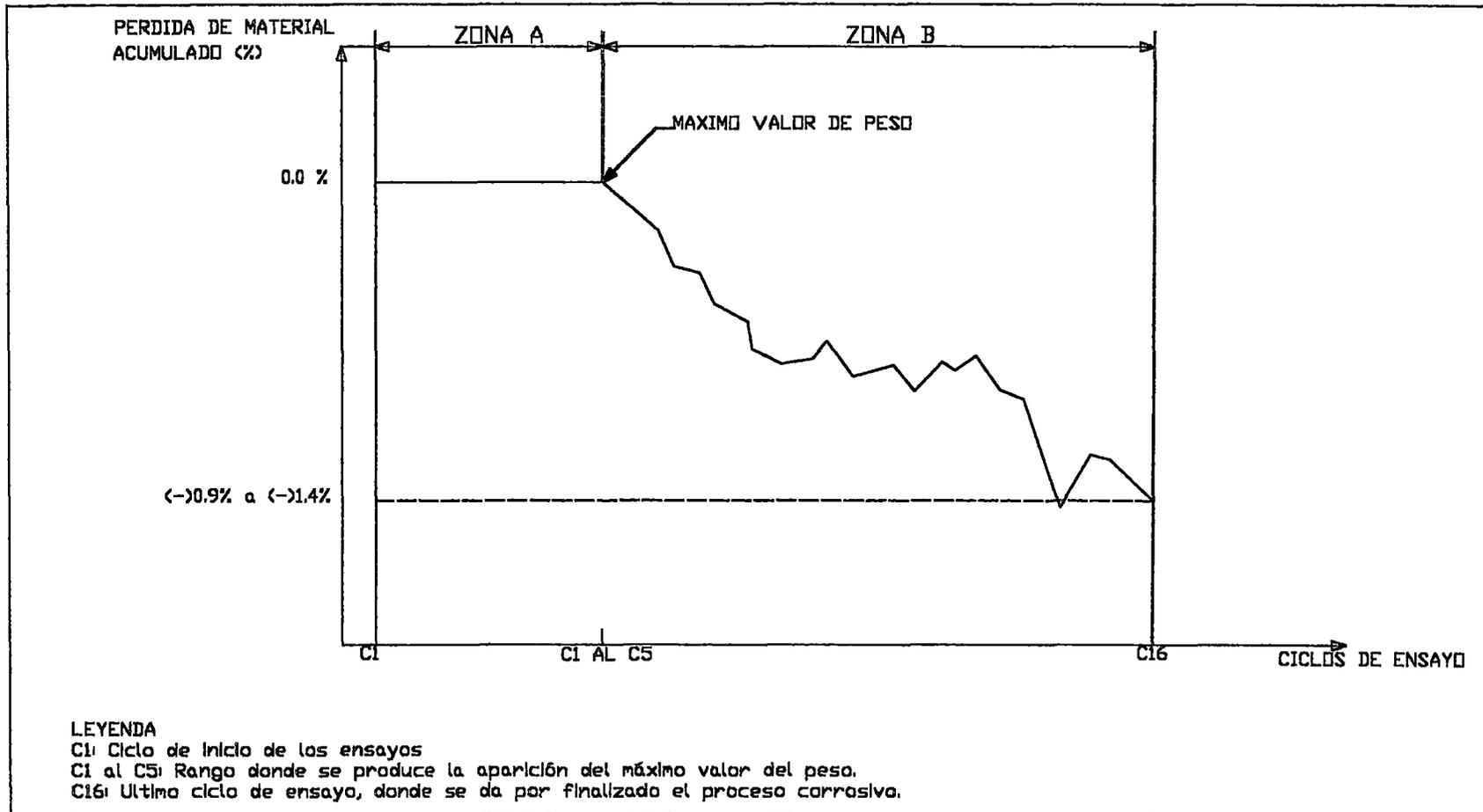
ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.65

ESQUEMA N°08



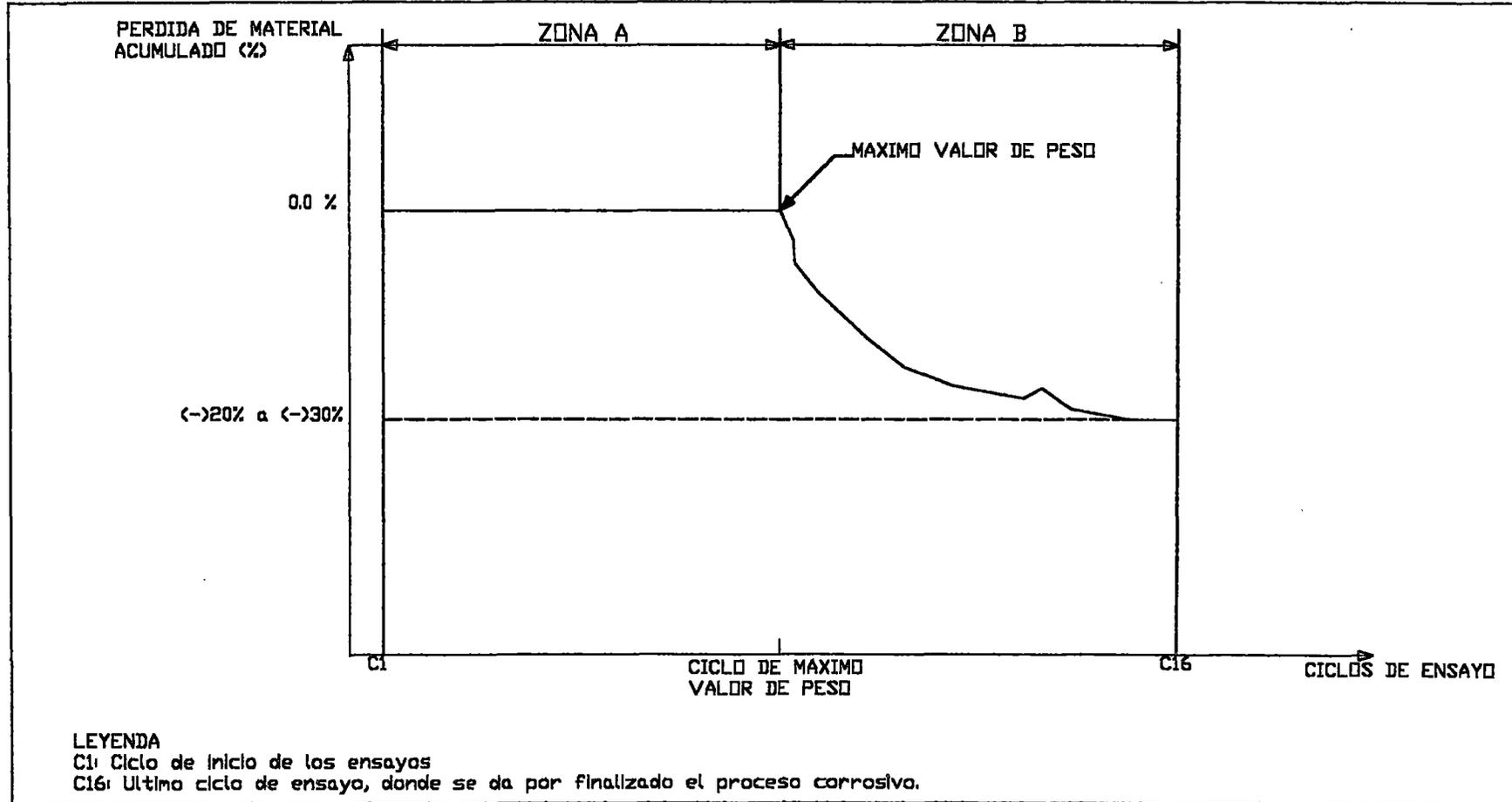
ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.65

ESQUEMA N°09



ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0,65

ESQUEMA N°10



Como en la anterior dosificación cada gráfica representa la variación de peso de las probetas y en cada gráfica se representa 5 muestras. El número de ciclos que comprendió este proceso corrosivo, para esta dosificación, fue de 14 ciclos de ensayo.

En estos gráficos se puede observar un incremento aun más rápido que en la dosificación a/c 0.70 hasta alcanzar el máximo valor del peso en los ciclos iniciales en el rango del ciclo1 al ciclo3; al igual que en la dosificación a/c 0.70 se produce un decrecimiento ya no tan constante como en la anterior dosificación si no que se produce una disminución acelerada para luego estabilizarse y entrar a un proceso de disminución y aumento de peso de manera más constante el cual durará hasta los últimos ciclos donde se produce una disminución importante para luego retomar la tendencia de la variación. Todo este proceso de decrecimiento se da en el rango del máximo y mínimo valor de peso.

Para una mayor visualización de lo explicado se presenta el esquema N°11.

Anteriormente se ha dado la explicación respectiva sobre el proceso de saturación de las sales y su posterior cristalización siendo esta la causante de las tensiones y presiones se darán origen a las fisuraciones resultantes. Lo más interesante de esta dosificación es la rápida saturación de poros por el sulfato de magnesio, prácticamente en los primeros ciclos, lo que nos dará entender la rápida difusión de las sales cuyos factores son múltiples y pasan por la calidad del concreto, la agresividad del medio, etc.

Por ultimo en los cuadros se puede apreciar que las probetas tienen un incremento de peso final (ciclo 14) con respecto al ciclo inicial (ciclo 1) el cual es de 65 gr.(detalle de calculo en el anexo B.7.1). El máximo valor del peso oscila en el rango de 4105 a 3945 gr.

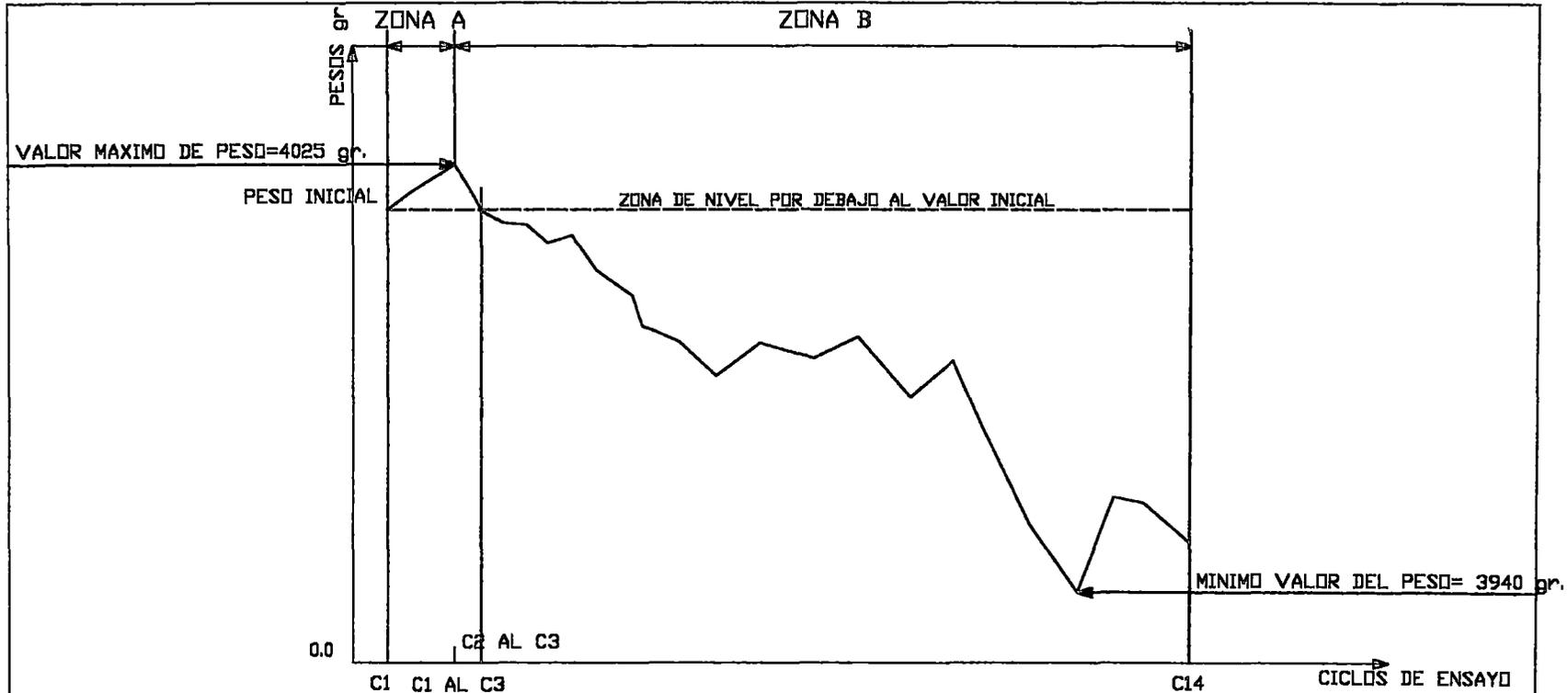
D-2). GRAFICO DE VARIACION DE PESO CONSECUTIVO POR CICLO DE ENSAYO.

Gráfico 7.1.73 al 7.1.82.

Los datos que sirvieron como base para estos gráficos que representan los valores de la variación de pesos de dos ciclos consecutivos, se pueden apreciar en los cuadros 7.1.27, 7.1.28 y 7.1.29. como en la anterior

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.70

ESQUEMA N°11



LEYENDA

- C1: Ciclo de inicio de los ensayos
- C1 al C3: Rango donde se produce la aparición del máximo valor del peso
- C2 al C3: Rango donde se inicia el decrecimiento por debajo del valor inicial C1
- C14: Último ciclo de ensayo, donde se da por finalizado el proceso corrosivo.
- ZONA A: Rango de incremento de peso (C1 al C1 al C3).
- ZONA B: Rango donde se produce el decrecimiento progresivo.

dosificación la presentación de cada uno de los gráficos involucra los valores de 3 probetas ensayadas.

En el cuadro N°10.2.10 se observa que los pesos se encuentran en un rango de máxima variación positiva (+) de 24 gr. y máxima variación negativa (-) de 38 gr. Los valores de máxima variación positiva y negativa han sido tomados teniendo en cuenta la desviación estándar, frecuencia y la tendencia hacia estos valores.

Cuadro N° 10.2.10

Relación a/c 0.70

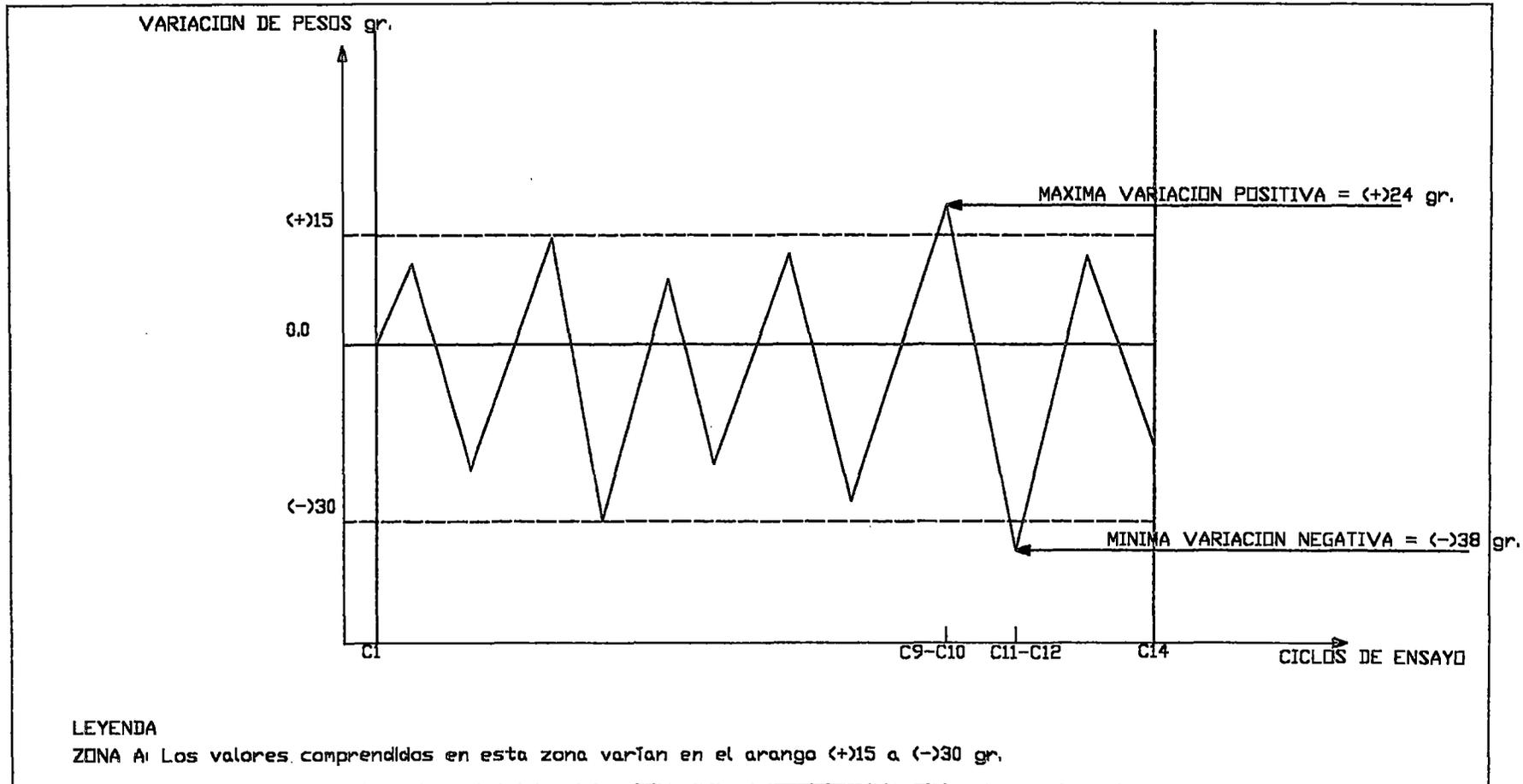
Muestra	Variación del peso (gr)		Muestra	Variación del peso (gr)	
	Máxima (+)	Mínima (-)		Máxima (+)	Mínima (-)
M1	27.0	-63.5	M16	31.0	-61.0
M2	17.0	-73.0	M17	16.0	-25.5
M3	16.5	-41.5	M18	17.5	-46.0
M4	28.0	-42.0	M19	14.0	-21.5
M5	18.5	-27.0	M20	9.5	-12.0
M6	11.0	-25.5	M21	35.0	-63.5
M7	13.5	-30.0	M22	16.0	-22.0
M8	36.5	-53.0	M23	21.5	-32.0
M9	17.0	-32.5	M24	24.0	-40.0
M10	35.5	-72.5	M25	24.0	-40.0
M11	45.5	-16.5	M26	47.5	-20.5
M12	17.5	-50.5	M27	31.5	-61.0
M13	13.5	-25.0	M28	30.5	-51.5
M14	19.5	-24.5	M29	20.0	-43.5
M15	48.0	-50.5	M30	40.5	-39.0
			M31	45.0	-36.0

En los gráficos mencionados se puede observar que la mayor parte de los valores se encuentran dentro del rango de valor positivo (+) 15 gr. a valor negativo (-) 30 gr. claro esta a excepción de los valores máximo variación positivo y negativo. Observar el esquema N°12.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION a/c 0.70

ESQUEMA N°12



El desarrollo de estas gráficas es muy irregular, se producen una serie de desfases lo que indicaría que la penetración de las sales en las probetas no se ha producida de forma uniforme por lo contrario se a dado de una forma desordenada.

La aparición del máximo valor positivo (+) y negativo (-) del peso se produce en el ciclo 10 y 11 gr. respectivamente. Como se ha explicado anteriormente se debe a que en este intervalo se produce un decrecimiento rápido en el peso de la probeta.

D-3). VARIACION DE PESO ACUMULADO POR CICLOS DE ENSAYO.

Gráficos 7.1.32 al 7.1.41. Estos gráficos nos permiten visualizar aun mejor que los que se presentan en el ítem D-1, es aquí donde se observa la pérdida de peso rápida para luego estabilizar este decrecimiento hasta volverlo casi constante y este proceso se da en el rango del máximo medio y el mínimo valor porcentual acumulado, es precisamente en esta zona donde se inicia el proceso de fisuración de la probeta, el porcentaje de peso acumulado máximo esta en el rango de 0.45 a 0.50%.

D-4). PERDIDA DE PESO ACUMULADO (%) POR CICLO DE ENSAYO.

Gráfico 7.1.83 al 7.1.92.

En estos gráficos se aprecia la pérdida de peso en las probetas una vez alcanzado el máximo valor del peso, también se puede observar la tendencia decreciente que adquiere esta pérdida de material, de la cual ya se mencionó en los ítems anteriores.

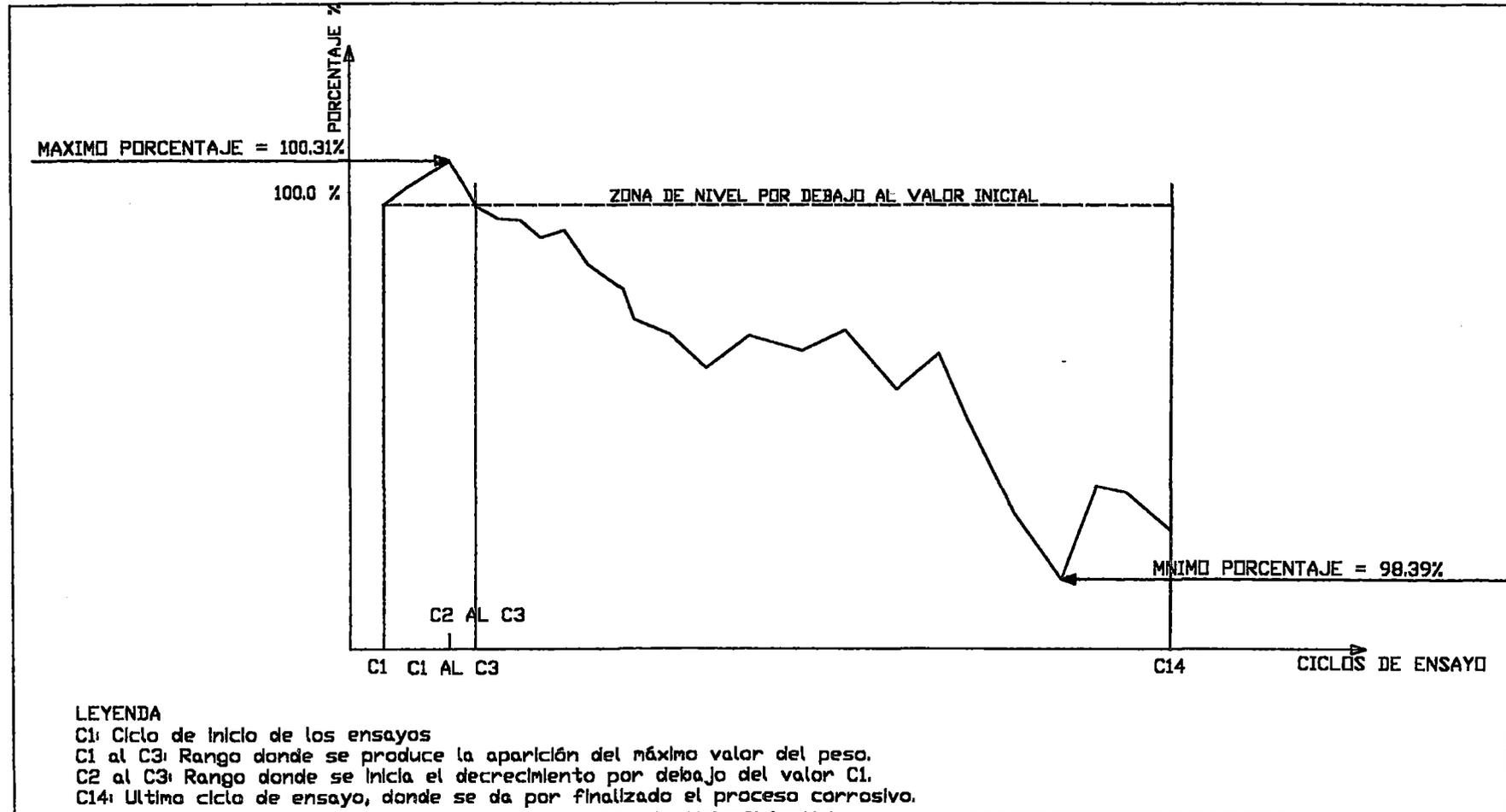
La pérdida acumulada máxima varía dentro del rango de (-1.8)% a (-2.5)% con respecto al máximo valor.

La pérdida acumulado final en el último ciclo de ensayo(ciclo 14) varía en el rango del (-1.2)% al (-2.2)% donde las sales representan 48.3 gr. y 88.5 gr. aproximadamente.

En los esquemas N°13 y 14, se pueden apreciar no solo la pérdida sino también el aumento de peso en algunos ciclos.

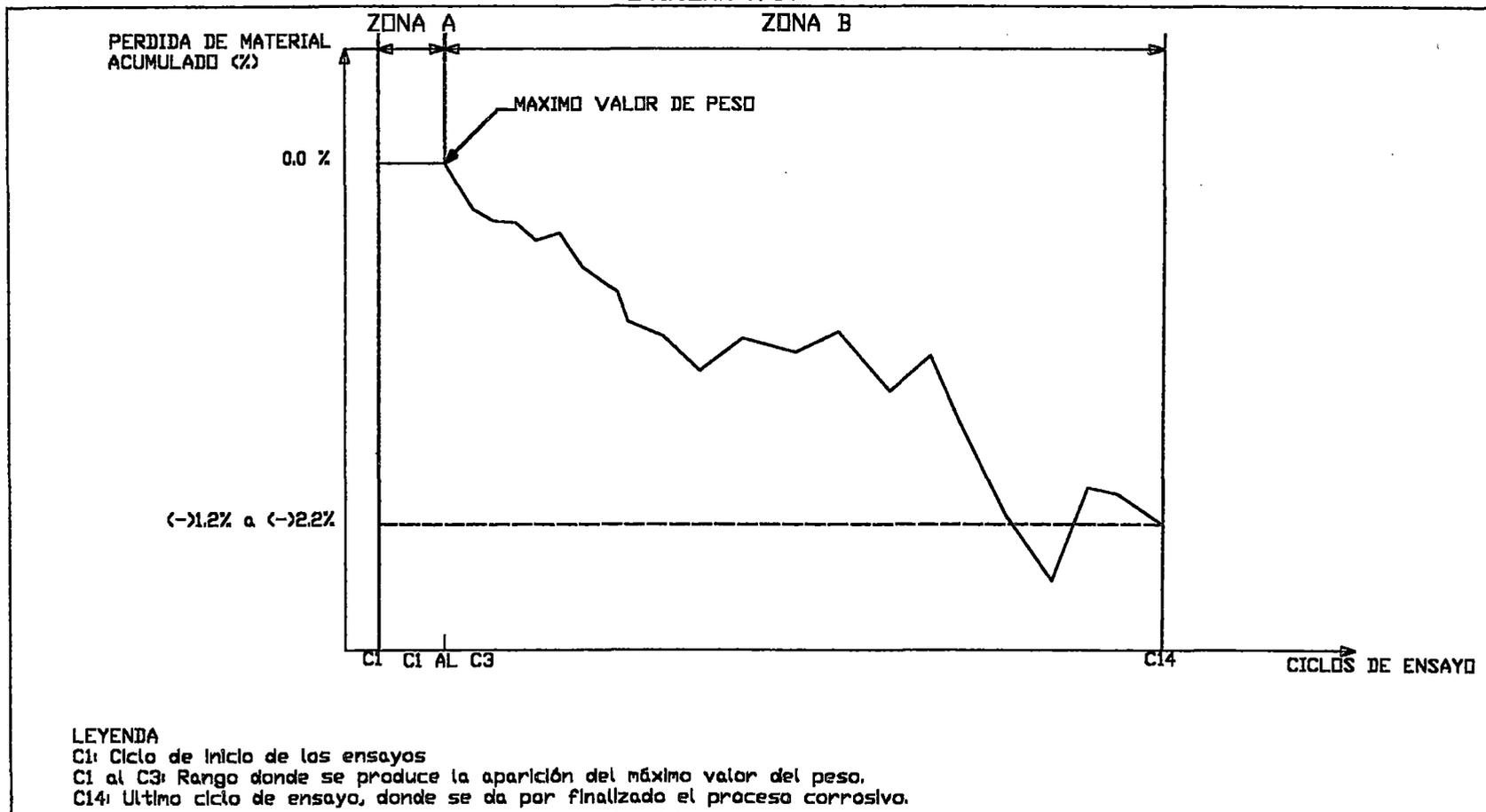
ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.70

ESQUEMA N°13



ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.70

ESQUEMA N°14



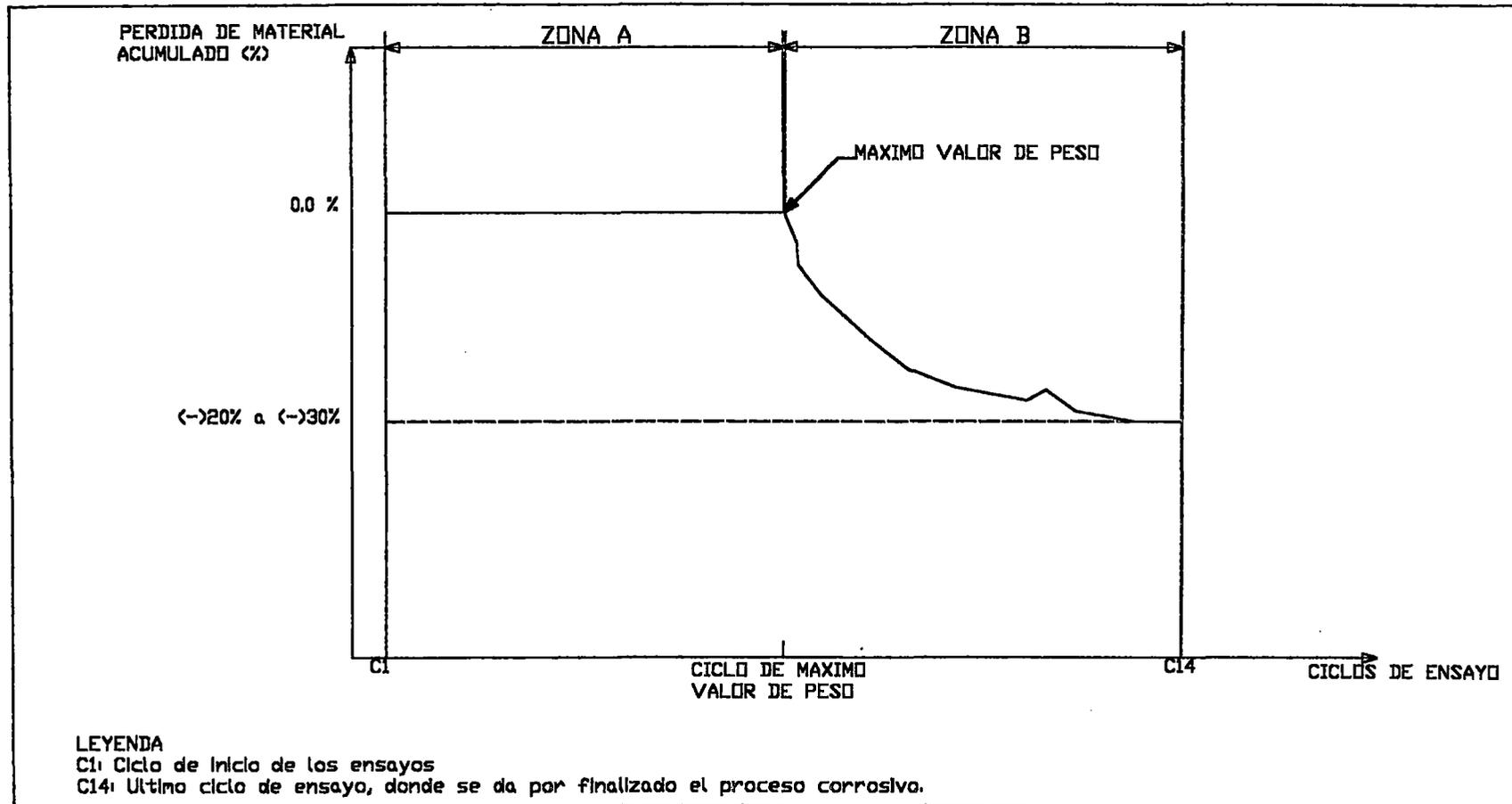
El Esquema N°13 es muy similar al esquema del ítem D-1, el cual representa la variación porcentual de los pesos cuya característica principal para esta dosificación es que el porcentaje máximo con respecto al peso del primer ciclo es de 100.31% y el porcentaje mínimo es de 98.39%, este esquema se basa en los cuadros B.7.8 al B.7.10, que se encuentran en el anexo B; estos gráficos son muy similares a los gráficos de Variación de Peso Acumulado que se menciona en el ítem D-3, los ciclos donde se producen estos mínimos y estos máximos porcentajes son los mismos que se mencionan en el ítem D-1.

Lo más resaltante de este esquema para el análisis es mostrar la zona de destrucción progresiva, el cual se inicia en el ciclo 2 al 3, en dicha zona ya no se muestra indicios de un aumento significativo de peso.

Si comparamos con el esquema N°15 que representa de manera mas adecuada la perdida de peso y destrucción de la probeta podemos darnos cuenta que el proceso corrosivo en esta dosificación esta dado por la fisuración en la probeta y no en la destrucción de la misma.

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y SECADO Y PERDIDA DE PESO-RELACION α/c 0.70

ESQUEMA N°15



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El avance de la corrosión en el concreto puede ser observado de distintas formas, como puede ser su cambio de peso o el deterioro paulatino que se observa a simple vista, como también la corrosión se puede manifestar en un cambio de las propiedades mecánicas de los materiales disminuyendo su resistencia.

El procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión para las probetas 4x8" es simple y consiste en que permanezcan las probetas durante 30, 60, 90 y 120 días inmersas en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt.

Se determinó también la resistencia de las probetas 4x8" en condiciones normales, es decir con un curado en agua potable y con edades de 7, 14 y 28 días, con la finalidad de obtener un factor de extrapolación con las resistencias de las probetas 6x12" del concreto patrón y de esta forma poder extrapolar las probetas 4x8" inmersas en el sulfato de magnesio a resistencia de probetas 6x12"; el factor de extrapolación considerado fue el de los 28 días de curado.

Se elaboró para cada relación agua-cemento 24 probetas, las cuales fueron ensayadas en un número de 06 probetas para cada edad de inmersión (30, 60, 90 y 120 días).

Luego las resistencias determinadas en probetas 4x8" fueron extrapoladas a resistencia de probetas 6x12" con el objeto de realizar todos los análisis en las mismas condiciones.

1. Resistencia del concreto patrón a los 28 días.

**Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días
(Probetas 6x12")**

Relación a/c	f _c (kg/cm ²)
0.60	272.96
0.65	243.03
0.70	225.97

2. Resistencia de probetas de concreto inmerso en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

RESISTENCIA DE MUESTRAS INMERSAS EN SULFATO DE MAGNESIO (30, 60, 90 Y 120 DÍAS) EN PROBETAS 4x8” Y EXTRAPOLADAS A PROBETAS 6x12”.

Relación a/c	Concreto Patrón (Kg/cm ²)	Nº de días de inmersión	f c inmerso en MgSO ₄	Desarrollo Porcentual
0.60	272.96	30	321.08	117.63
		60	376.44	137.91
		90	318.44	116.67
		120	275.68	101.00
0.65	243.03	30	255.69	105.21
		60	319.21	131.35
		90	274.99	113.15
		120	245.29	100.93
0.70	225.97	30	218.79	99.73
		60	294.18	134.09
		90	253.84	115.71
		120	228.54	104.17

RELACION a/c 0.60:

- 1.) Los valores de resistencia a la compresión para los diferentes días de inmersión son mayores con respecto al concreto patrón, a pesar que la resistencia a los 120 días supera por poco margen al concreto patrón.
- 2.) El incremento porcentual máximo se da a los 60 días de inmersión y es de 37.91%, siendo el mínimo 1% a los 120 días de inmersión.
- 3.) Analizando el cuadro, para la relación a/c 0.60 la resistencia comienza a disminuir a los 90 días de inmersión con una resistencia de 318.44 Kg/cm², lo cual es menor que la resistencia máxima que se da a los 60 días y es de 376.44 Kg/cm².

RELACION a/c 0.65:

- 1.) Los valores de resistencia para los distintos días de inmersión son mayores con respecto al del concreto patrón.
- 2.) El incremento porcentual máximo se da a los 60 días de inmersión y es de 31.35%, siendo el mínimo 0.93% y se da a los 120 días.
- 3.) Para la relación a/c 0.65 la resistencia comienza a disminuir a los 90 días de inmersión y es de 274.99 Kg/cm², el cual es menor al de la resistencia que se da a los 60 días que es de 319.21 Kg/cm².

RELACION a/c 0.70:

- 1.) Los valores de resistencia para los distintos días de inmersión son mayores con respecto al concreto patrón a excepción a la resistencia que tiene el concreto a los 30 días de inmersión en sulfato de magnesio.
- 2.) El incremento porcentual máximo se da a los 60 días de inmersión y es de 34.09%, y el mínimo se da a los 30 días siendo -0.27% (menor con respecto al concreto patrón).
- 3.) Para la relación a/c 0.70 la resistencia comienza a disminuir a los 90 días de inmersión la cual es 261.46 Kg/cm², siendo menor que la resistencia que se da a los 60 días que es 303.00 Kg/cm².

3. Factor de Extrapolación:

Los factores de extrapolación son mayores a la unidad a excepción al que se da en la relación a/c 0.70 a los 7 días y es de 0.876, el factor de extrapolación considerado es a los 28 días.

Esto da entender que el ensayo de resistencia a la compresión en probetas 4x8" va ser igual que la resistencia de probetas 6x12", por tanto la resistencia en probetas 6x12" es mayor que la resistencia de las probetas 4x8".

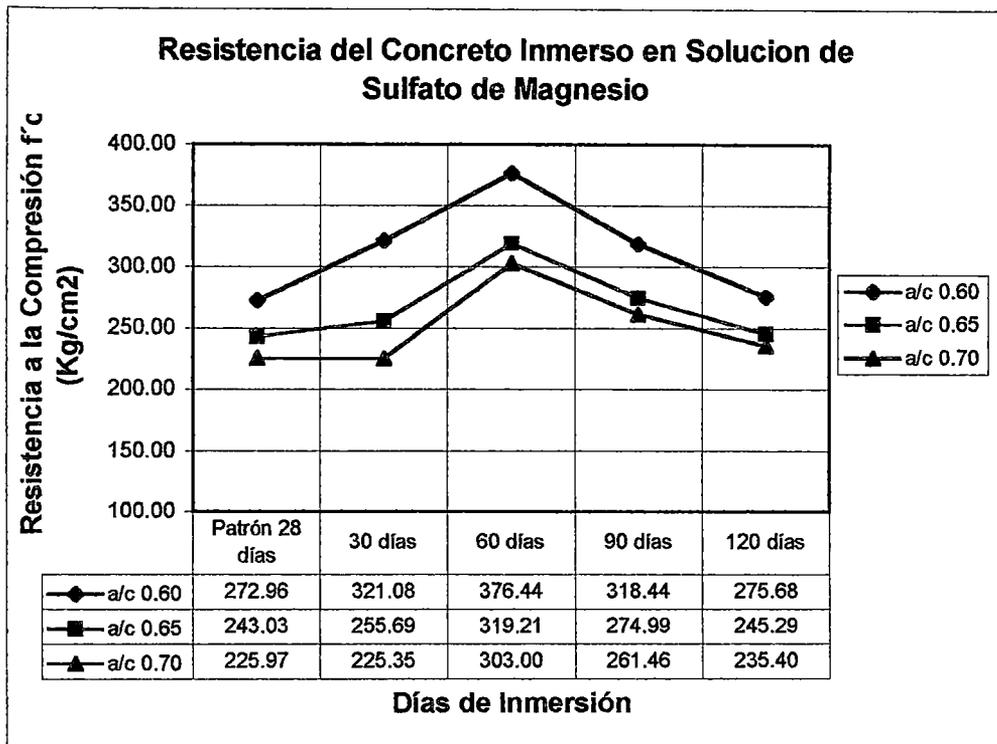
$$\text{Factor de Extrapolación} = \frac{\text{Resist. prob 6x12}''}{\text{Resist. prob 4x8}''}$$

4. El sulfato de magnesio en solución, incrementa la resistencia del concreto después de un tiempo determinado de inmersión (30, 60, 90 y 120 días) para luego disminuir sin llegar a ser menor que la resistencia del concreto patrón, pero la tendencia para días posteriores a los mencionados es a ser menores que la resistencia del concreto patrón.

Relación a/c	Factor de Extrapolación
0.60	1.080
0.65	1.010
0.70	1.030

5. La disminución de la resistencia para la relación a/c 0.60, 0.65 y 0.70 ocurren después de alcanzar el máximo incremento de resistencia.

Tendencia de la Resistencia.



CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Introducción:

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo el de determinar el grado de corrosión y el proceso corrosivo en el concreto de mediana a baja resistencia debido a la acción del sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt.

Para lo cual se elaboró probetas de concreto de 4x8" para las relaciones agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70 empleando cemento Pórtland tipo I-Sol, con un porcentaje óptimo de arena y piedra de 48 y 52% respectivamente. Dichas probetas fueron sometidas a ensayos de corrosión acelerados o de corto plazo, llámese ensayo de humedecido y secado por pérdida de peso y ensayo de resistencia a la compresión de concreto inmerso en una solución de sulfato de magnesio.

Breve descripción de los ensayos acelerados:

- Ensayo de humedecido, secado y pérdida de peso.

El concreto fue sometido a ciclos de humedecido a ciclos de humedecido (24 horas) en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt., secado en un horno (3 a 4 horas con temperatura de 105 a 110 °C) y pesado de la muestra.

El proceso de humedecido, secado y pérdida de peso culminó después de 14 a 17 ciclos, con la fisuración y posterior agrietamiento del concreto.

Para este ensayo se elaboraron 30 muestras de probetas 4x8" para cada relación agua-cemento.

- Ensayo por resistencia a la compresión.

El concreto luego de ser curados 28 días en agua normal, fue sumergido en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt., luego se procedió a la rotura del mismo al cabo de 30, 60, 90 y 120 días de estar sumergidas.

En este ensayo se determinó la resistencia a la compresión en probetas 4x8", para lo cual se elaboraron 54 unidades para las condiciones normales (curado a 7, 14 y 28 días en el agua) y 72 unidades, previa curación de 28 días en agua normal, en condiciones de inmersión en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 100 gr/lt.

Las primeras 54 probetas se elaboraron para obtener un factor de extrapolación con las probetas del concreto patrón 6x12" (28 días de curado) y con este factor extrapolar las resistencias a la compresión de las probetas 4x8" sumergidas en solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt a resistencias a la compresión de probetas 6x12".

10.2 Conclusiones:

1. La corrosión que presenta el concreto de mediana a baja resistencia producto de la acción del sulfato de magnesio en una solución de 100 gr/lt siguiendo ciclos de humedecido y secado, es un proceso del tipo físico-mecánico, y sigue el desarrollo siguiente:

PRIMERO: Penetración y difusión de las sales de sulfato a través de los poros del concreto por vía húmeda.

SEGUNDO: Acumulación paulatina de las sales de sulfato en el interior del concreto hasta alcanzar la saturación de los poros.

TERCERO: Cristalización de las sales en el interior del concreto debido a la evaporación del agua. Durante la cristalización se produce la expansión del volumen de las sales.

CUARTO: Esta expansión de las sales provoca la fisuración y posterior agrietamiento del concreto.

2. El concreto de menor relación agua-cemento tiene una mayor resistencia que el concreto de mayor relación agua-cemento, frente al ataque del sulfato de magnesio en solución 100 gr/lt., mediante ciclos de humedecido y secado.

Esto se manifiesta en el número de ciclos de humedecido y secado empleados para finalizar el ensayo de humedecido y secado; el cual se manifiesta por la fisuración y posterior agrietamiento del concreto sin desprendimiento de material llámese arena, piedra o pasta; siendo de 14, 15 y 17 ciclos para la relación agua-cemento 0.70, 0.65 y 0.60 respectivamente.

3. La fisuración del concreto de mediana a baja resistencia se inicia debido a la expansión del volumen de las sales cristalizadas en el interior de los poros saturados que producen presiones y tensiones en el concreto, este efecto físico se produce aproximadamente del 4 al 7 ciclo de humedecido y secado.
4. En el proceso de corrosión del concreto producto del ensayo de humedecido y secado, se produce la acumulación de sales en los poros del concreto de relación agua-cemento 0.70, 0.65 y 0.60, siendo el porcentaje máximo de peso acumulado de 0.48%, 0.13%, y 0.28% y los cuales se dan en los ciclos 3, 5 y 8, respectivamente (este porcentaje acumulado es con respecto al peso de la muestra).
5. En el proceso de corrosión del concreto de mediana a baja resistencia número de ciclos que necesita el sulfato de magnesio para saturar los poros interiores del concreto es 3, 5 y 8 ciclos para 0.70, 0.65 y 0.60 respectivamente.
6. En el concreto de mediana a baja resistencia, una vez alcanzado el máximo valor de peso y de iniciado el proceso de cristalización y fisuración, luego de una serie de variaciones se produce una etapa de pérdida continua de material, en la cual se producen las presiones y tensiones que ocasionan las fisuras en el concreto, esta etapa se inicia entre los ciclos 6-12.

7. La difusión y la penetración de las sales, en el proceso de corrosión, en los poros del concreto se han producido de manera irregular, caótica y con grandes distorsiones en la variación de peso consecutivo, no existiendo una tendencia constante entre las variaciones positivas y negativas.

8. La corrosión del concreto de mediana a baja resistencia debido al sulfato de magnesio en solución 100 gr/lit desarrollado en ciclos de humedecido y secado, produce una serie de manifestaciones físicas en la superficie del concreto, el cual se presenta de la siguiente manera:

PRIMER PERIODO: (ciclo 0 al ciclo 03)

- Aparecen las primeras eflorescencias blanquecinas de poco espesor.
- Estas eflorescencias cubren pequeñas zonas de la superficie de la muestra.

SEGUNDO PERIODO: (ciclo 03 al Ciclo 07)

- Se incrementan las eflorescencias y su superficie es suave y algodonosa.
- La superficie de estas aumentan y cubren gran parte de la superficie de la muestra.

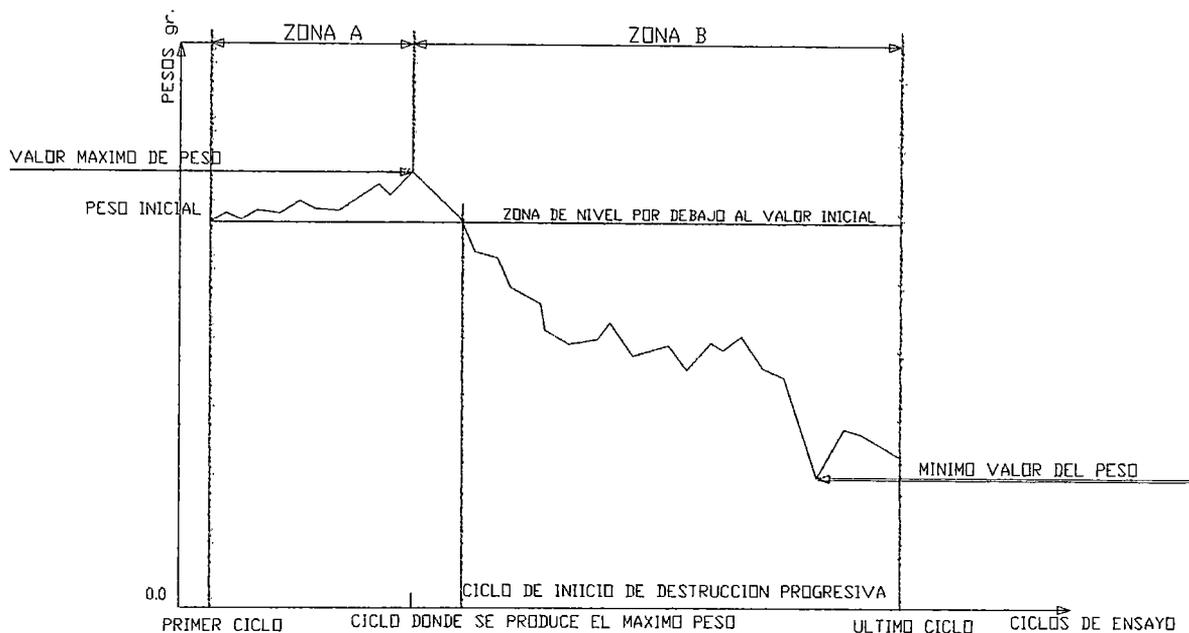
TERCER PERIODO: (ciclo 07 al ciclo 8)

- Aparece la piel de cocodrilo que poco a poco se va acentuando. Se muestran pequeñas fisuras
- Casi toda la superficie de la muestra esta cubierta por las eflorescencias blanquecinas con varios puntos blancos y brillantes.

CUARTO PERIODO: (ciclo 8 al ciclo 16)

- Se muestran fisuras de algunos centímetros (inicios del agrietamiento del concreto).
- La eflorescencia disminuye un poco pero aun cubre gran parte de la muestra.

9. En el proceso corrosivo del tipo físico-mecánico que se produce en un concreto de mediana a baja resistencia por acción del sulfato de magnesio, se puede representar gráficamente de la siguiente manera:



Ciclos	0 al 07	Del 08 al 14	15 al 17
Proceso Físico-Mecánico	Proceso de penetración y saturación de las sales	Proceso de cristalización y expansión de las sales saturadas.	Fisuración y posterior agrietamiento del concreto.
Manifestaciones Físicas en la Superficie	Aparición de las eflorescencias blanquecinas en la superficie del concreto.	Aumento de las eflorescencias blanquecinas en la superficie del concreto en casi la totalidad del concreto superficie muy dañada.	Aparece la piel de cocodrilo en la superficie del concreto.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

10. En el periodo de inmersión del concreto en sulfato de magnesio con una solución de 100 gr/lt, de 30 días, la resistencia a la compresión decrece 0.27% para la relación a/c 0.70 y se incrementa 5.21%, 17.63% para las relaciones agua-cemento 0.65 y 0.60 respectivamente, esto con respecto al concreto patrón.
11. En el periodo de inmersión del concreto en sulfato de magnesio con una solución de 100 gr/lt, de 60 días, la resistencia a la compresión se incrementa 34.09%, 31.35% y 37.91% para las relaciones agua-cemento 0.70, 0.65 y 0.60 respectivamente, esto con respecto al concreto patrón.
12. En el periodo de inmersión del concreto en sulfato de magnesio con una solución de 100 gr/lt, de 90 días, la resistencia a la compresión se incrementa 15.71%, 13.15% y 16.67% para las relaciones agua-cemento 0.70, 0.65 y 0.60 respectivamente, esto con respecto al concreto patrón.
13. En el periodo de inmersión del concreto en sulfato de magnesio con una solución de 100 gr/lt, de 120 días, la resistencia a la compresión se incrementa 4.17%, 0.93% y 1.00% para las relaciones agua-cemento 0.70, 0.65 y 0.60 respectivamente, esto con respecto al concreto patrón.
14. Para los periodos de inmersión, en la solución de sulfato, de 30, 60, 90 y 120 días las resistencias a la compresión son superiores al del concreto patrón (a excepción a la resistencia de la relación a/c 0.70 a los 30 días), pero la tendencia es creciente hasta alcanzar un máximo a los 60 días de sumergida en la solución de sulfato y luego decrece; todo esto debido a que las sales se acumulan y saturan el interior de los poros del concreto, lo que permite densificar dicho concreto cuyos vacíos se han llenado de sales cristalizadas, lo que le da una mayor resistencia inicial.

15. La propiedad más importante del concreto para controlar este problema de la corrosión es la permeabilidad del concreto.

10.3 RECOMENDACIONES:

1. Realizar el estudio para concretos diseñados con o sin aditivos (especialmente plastificantes), otros tipos de cementos que estén inmersos y con flujo en una solución de sulfato de magnesio 100gr/lt.
2. Es necesario incrementar el número de días inmersos en sulfato de magnesio en solución 100 gr/lt a mas de 120 días, para tener una tendencia más representativa de la resistencia a la compresión.
3. Es necesario aumentar la observación a un mayor número de ciclos y no solamente cuando se tenga presencia inicial de fisuras.
4. Proteger las estructuras de concreto expuesto a un ambiente esta debe estar protegida tanto interna como externamente como también utilizar mezclas capaces de soportar la acción de los agentes agresivos.
5. Relacionar el estudio de la teoría de difusión y relacionarlo con la penetración de las sales al interior del concreto, y tener parámetros que nos permitan establecer una vida útil de la estructura de concreto más adecuada.
6. Realizar el estudio del proceso de corrosión en concreto armado y determinar el proceso electroquímico que surge entre el concreto y el acero durante el proceso corrosivo.
7. Se recomienda evaluar el estado que presentan las estructuras de concreto expuestas a un ambiente agresivo existiendo diversas maneras de realizarlas pueden ser de la siguiente forma: Por la presencia de eflorescencias o incrustaciones de sales en la superficie del concreto

además una evaluación mas detallada y adecuada es realizando perforación diamantina, estudios químicos y utilizar equipo de sonar.

8. El concreto expuesto a condiciones severas debe tener una baja permeabilidad con un contenido de cemento de 400 kg/m³ de concreto como mínimo es decir no mayor a una relación a/c 0.45, además de tener agregados con una excelente granulometría para hacerlo más denso.

9. Para el diseño de estructuras de concreto, no tan solo tener en cuenta el concepto de diseño por resistencia si no también por durabilidad, un concreto resistente no implica ser un concreto durable.

La durabilidad del concreto nos permitirá ampliar la vida útil del concreto el cual presenta dos etapas incremento-saturación y cristalización-fisuración.

10. Es difícil determinar el tiempo en que se va a corroer una estructura de concreto, es necesario orientar por lo tanto nuestros estudios hacia ese objetivo, el determinar en cuanto tiempo nuestra estructura de concreto no se corroe es decir saber la vida útil que va tener dicha estructura.

11. Establecer las estrategias adecuadas para preservar las estructuras de concreto y esto se inicia con realizar un adecuado proceso de estudio siguiendo por la etapa de construcción, operación y mantenimiento que garantice que la estructura cumpla con la función por la cual se creo.

BIBLIOGRAFÍA

1.

TITULO : Diseño de Mezclas.
AUTOR : Enrique Rivva López.
EDITORIAL : Centro de Estudiantes de la FIC-UNI.
AÑO : 1992
CIUDAD : Lima-Perú
EDICIÓN : 2^{da}
BIBLIOTECA : Personal.
CONTENIDO : Durabilidad del concreto.
Diseño de Mezclas.

2.

TITULO : Corrosión del Cemento por Ataque de Sulfatos
AUTOR : José Luis Díaz Lazo.
EDITORIAL : Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Lima-Perú.
AÑO : 1994
CIUDAD : Lima-Perú
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil-UNI, Tesis de Grado TG/3166.
CONTENIDO : Método de Ensayo de Humedecido y Secado por Peso.

3.

TITULO : Boletines Técnicos N° 01 al 58.
AUTOR : Asociación de Productores de Cemento, ASOCEM.
EDITORIAL : Asociación de Productores de Cemento, ASOCEM.
AÑO : 1993
CIUDAD : Lima-Perú
EDICIÓN : 3^{era}
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil-UNI Código 693.5/A837.
CONTENIDO : N° 45. El agua de Mar en el Amasado del Concreto.
N° 46. Ataque Químico al Concreto.
N° 52. Desarreglos del Concreto por la Agresión del ión Sulfato.

4.

TITULO : Corrosión y Protección del Hormigón.
AUTOR : Imre Biczok.
EDITORIAL : Urmo, S.A de EDICIONES; España.
AÑO : 1981
CIUDAD : Bilbao-España
EDICIÓN : 2^{da}
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil-UNI Código 669.9/B1.
CONTENIDO : Investigación de la Corrosión en el Concreto en le Laboratorio.
Procesos de la Corrosión.

5.
TITULO : Corrosión del Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción de Cloruro de Sodio con Cemento Pórtland Tipo I.
AUTOR : Ángel Rafael Avendaño Aroni.
EDITORIAL : Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Lima-Perú.
AÑO : 2000
CIUDAD : Lima-Perú
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil-UNI, Tesis de Grado TG/3961.
CONTENIDO : Proceso de Ensayo de Corrosión Acelerado por Resistencia a la Compresión.

6.
TITULO : Los Cementos Especiales Aumentan la Resistencia del Concreto al Ataque de Sulfatos.
AUTOR : Rosa Rodríguez, Daniel Dámaso Juárez y Roberto Uribe Afif.
EDITORIAL : Revista Construcción y Tecnología. IMCYC.
AÑO : 2000
CIUDAD : Ciudad de México
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Personal.
CONTENIDO : Publicación sobre Métodos Experimentales de Corrosión.

7.
TITULO : Durabilidad del Concreto Expuesto a Ambiente Marino
AUTOR : Andrés Torres Acosta
EDITORIAL : Revista Construcción y Tecnología. IMCYC.
AÑO : 2001
CIUDAD : Ciudad de México
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Personal.
CONTENIDO : Corrosión marina del concreto, periodo de la iniciación de la corrosión.

8.
TITULO : Physical Model for Steel Corrosion in Concrete Sea Structures-Theory
AUTOR : Bazant, Z. P
EDITORIAL : Revista Construcción y Tecnología. IMCYC.
AÑO : 1979
CIUDAD : Ciudad de México
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Personal.
CONTENIDO : Corrosión en concreto con refuerzo en ambiente marino.

9.

TITULO : Aspectos Básicos de la Durabilidad de Hormigones de Cementos Portland
AUTOR : Paula Andrea Cerutti Passoni
EDITORIAL : C I A T H .
AÑO : 2001
CIUDAD : Córdoba-Argentina
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Personal.
CONTENIDO : Ataque de sulfatos en el concreto.

10.

TITULO : Concreto durable, el inicio del cambio
AUTOR : Roberto Uribe Afif
EDITORIAL : Revista Construcción y Tecnología. IMCYC.
AÑO : 2000
CIUDAD : Ciudad de México
EDICIÓN : 1^{era}
BIBLIOTECA : Personal.
CONTENIDO : Casos comunes de problemas de corrosión en el concreto.

ANEXO A: CUADROS Y GRAFICOS.

1. Cuadros de propiedades físicas del agregado fino.

Cuadro A.1.1 al A.1.1.5

2. Cuadros de propiedades físicas del agregado grueso.

Cuadro A.1.6 al A.1.1.10

3. Cuadros del agregado global.

Cuadro A.1.11 al A.1.12

4. Diseño de mezclas.

- Proceso de diseño. A.4.1
- Diseño de mezcla de prueba. A.4.2:

Gráfico A.4.1 al A.4.3

5. Cuadros de los ensayos del concreto al estado fresco

Cuadro A.5.1 al A.5.7

6. Cuadros de los ensayos del concreto al estado endurecido

Cuadro A.6.1 al A.6.4

1. ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO (ARENA)

PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA ARENA (METODO DEL BALON)

Cuadro A.1.1

Datos y Resultados		UND.	Muestras		
			M1	M2	M3
A	Peso de la Muestra S.S.S.	gr.	500.00	500.00	500.00
B	Peso de la Muestra S.S.S.+ Peso del Balón	gr.	674.00	676.00	676.50
C	Peso de la Muestra S.S.S.+ Peso del Balón + Peso del Agua.	gr.	985.50	984.50	986.00
D	Peso del Agua. (C-B)	gr.	311.50	308.50	309.50
E	Volumen de agua (D/Peso específico del agua)	cm3	311.50	308.50	309.50
F	Volumen del Balón.	cm3	500.00	500.00	500.00
G	Volumen de la Muestra. (F-E)	cm3	188.50	191.50	190.50
H	Peso de la Muestra Secada al Horno.	gr.	489.00	493.50	493.50
Peso Específico. (H/G)		gr/cm3	2.59	2.58	2.59
Porcentaje de Absorción. (A-H)/(H)x100		%	2.25	1.32	1.32

Peso Específico : 2.59 gr/cm3
Porcentaje de Absorción : 1.63 %

PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA (PUS)

Cuadro A.1.2

Peso Unitario Suelto.		UND.	Muestras		
			M1	M2	M3
A	Peso de la Muestra suelta + Balde 1/10 p3.	Kg.	7.578	7.654	7.587
B	Peso del Balde 1/10 p3.	Kg.	2.799	2.799	2.799
C	Peso de la Muestra Suelta. (A-B)	Kg.	4.779	4.855	4.788
D	Volumen del Balde 1/10 p3.	m3.	0.00277	0.00277	0.00277
Peso Unitario Suelto.(C/D)		Kg/m3.	1724.03	1751.44	1727.27

Peso Unitario Suelto : 1734.25 Kg/m3.

PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA ARENA (PUC)

Cuadro A.1.3

Peso Unitario Suelto.		UND.	Muestras		
			M1	M2	M3
A	Peso de la Muestra Compactada + Balde 1/10 p3.	Kg.	8.117	8.136	8.162
B	Peso del Balde 1/10 p3.	Kg.	2.793	2.799	2.799
C	Peso de la Muestra Compactada. (A-B)	Kg.	5.324	5.337	5.363
D	Volumen del Balde 1/10 p3.	m3.	0.00277	0.00277	0.00277
Peso Unitario Compactada.(C/D)		Kg/m3.	1920.63	1925.32	1934.70

Peso Unitario Compactado : 1926.89 Kg/m3.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA

Cuadro A.1.4

Datos y Resultados		UND.	M1	M2	M3
A	Peso de la Muestra Húmeda.	gr.	500	500	500
B	Peso de la Muestra Secada al Horno	gr.	496	496.5	496.5
C	Contenido de Agua (A-B)	gr.	4.0	3.5	3.5
Contenido de Humedad (C/Bx100)		%	0.81	0.70	0.70

Contenido de Humedad : 0.74 %

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO Y MODULO DE FINURA

Cuadro A.1.5

TAMIZ ASTM	Peso (gr) ARENA	% Retenido ARENA	%Ret. Acum. ARENA
2 1/2			
2			
1 1/2			
1			
3/4			
1/2			
3/8			
1/4			
N° 4	8.5	1.70	1.70
N° 8	48.5	9.70	11.40
N°16	118	23.60	35.00
N°30	132.5	26.50	61.50
N°50	97.5	19.50	81.00
N°100	54	10.80	91.80
N°200	0	0.00	91.80
FONDO	41	8.20	100.00
TOTAL	500	100.00	

TAMIZ ASTM	ARENA
2 1/2	
2	
1 1/2	
1	
3/4	
1/2	
3/8	
1/4	
N° 4	1.70
N° 8	11.40
N°16	35.00
N°30	61.50
N°50	81.00
N°100	91.80
N°200	0.00
	2.82

MODULO DE FINURA

2. ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA)

**PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA
METODO DE LA BALANZA HISDROSTÁTICA**

Cuadro A.1.6

Datos y Resultados		UND.	M1	M2	M3
A	Peso de la muestra S.S.S.	gr.	2000	2000	2000
B	Peso de la canastilla en el agua.	gr.	1881	1881.5	1881.5
C	Peso de la muestra S.S.S. + Peso de la canastilla en el agua.	gr.	3147	3146	3147
D	Peso de la muestra S.S.S. En el agua (C-B).	gr.	1266	1264.5	1265.5
E	Volumen de la muestra (A-D)	cm3	734	735.5	734.5
F	Peso de la muestra secada al horno.	gr.	1985.5	1986	1984.5
Peso Específico (F/E)		%	2.71	2.70	2.70
Porcentaje de Absorción (A-F)/Fx100		%	0.73	0.70	0.78

Peso Específico : **2.70 gr/cm3**
Porcentaje de Absorción : **0.74 %**

PESO UNITARIO SUELTO DE LA PIEDRA (PUS)

Cuadro A.1.7

Peso Unitario Suelto		Und.	M1	M2	M3
A	Peso de la muestra suelta + balde 1/2 p3	Kg	32.20	31.70	32.63
B	Peso del balde 1/2 p3	Kg	12.40	12.40	12.40
C	Peso de la muestra suelta (A-B).	Kg	19.80	19.30	20.23
D	Volumen del balde 1/2 p3.	m3	0.0136	0.0136	0.0136
Peso Unitario Suelto (C/D)		Kg/m3	1455.88	1419.12	1487.13

Peso Unitario Suelto : **1454.04 Kg/m3**

PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA PIEDRA (PUC)

Cuadro A.1.8

Peso Unitario Compactado		Und.	M1	M2	M3
A	Peso de la muestra compactada + balde 1/2 p3	Kg.	34.25	34.15	33.75
B	Peso del balde 1/2 p3.	Kg.	12.40	12.40	12.40
C	Peso de la muestra compactada (A-B).	Kg.	21.85	21.75	21.35
D	Volumen del balde 1/2 p3.	m3	0.0136	0.0136	0.0136
Peso Unitario Compactado (C/D).		Kg/m3	1606.62	1599.26	1569.85

Peso Unitario Compactado: **1591.91 Kg/m3**

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PIEDRA.

Cuadro A.1.9

Datos y Resultados		Und.	M1	M2	M3
A	Peso de la muestra húmeda.	gr.	1000.0	1000.0	1000.0
B	Peso de la muestra secada al horno.	gr.	995.0	995.5	996.0
C	Contenido de agua (A-B).	gr.	5.0	4.5	4.0
Contenido de Humedad (C/Bx100)		%	0.50	0.45	0.40

Contenido de Humedad 0.45 %

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO Y MODULO DE FINURA

Cuadro A.1.10

TAMIZ ASTM	Peso (g)	% Retenido	%Ret. Acum.
	PIEDRA	PIEDRA	PIEDRA
2 1/2			
2			
1 1/2			
1	321	2.68	2.68
3/4	4563.5	38.03	40.71
1/2	6051.5	50.44	91.14
3/8	867.5	7.23	98.37
1/4	169.5	1.41	99.79
N° 4	15	0.13	99.91
N° 8	6.5	0.05	99.97
N°16		0.00	
N°30		0.00	
N°50		0.00	
N°100		0.00	
N°200		0.00	
FONDO	4	0.03	100.00
TOTAL	11998.5	100.00	

TAMIZ ASTM	PIEDRA
2 1/2	
2	
1 1/2	
1	2.68
3/4	40.71
1/2	91.14
3/8	98.37
1/4	99.79
N° 4	99.91
N° 8	99.97
N°16	100.00
N°30	100.00
N°50	100.00
N°100	100.00
N°200	
	7.39

MODULO DE FINURA

3. ENSAYO DEL AGREGADO GLOBAL

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

METODO DE COMPACIDAD
 ENSAYO DE PESO UNITARIO COMPACTADO ($V_{balde\ cm^3}=0.01360$)

Cuadro A.1.11

N ^a	Combinación				Peso Compactado 1	Peso Compactado 2	Peso Compactado 3	PUC kg/m ³
	Arena		Piedra					
	%	Kg.	%	Kg.				
1	46	18	54	21.13	25.73	25.50	25.60	2046.12
2	48	23	52	24.92	26.45	26.45	26.20	2129.73
3	50	26	50	26	26.25	26.40	26.50	2131.57
4	52	32	48	29.54	26.53	26.50	26.55	2147.19
5	54	38	46	32.37	26.55	26.50	26.45	2144.43

METODO DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN MÁXIMA

Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 7 días

a/c=0.65

Asentamiento (3"-4")

Cuadro A.1.12

Relación Arena/Piedra	diámetro (cm)	Area (cm ²)	Carga (Kg)	f _c (Kg/cm ²)	Promedio	% Arena	f _c
47/53	14.80	172	28500	165.67	167.43	47	167.43
	14.80	172	29100	169.15		49	160.65
	14.90	174	29200	167.47		51	162.11
49/51	14.90	174	26600	152.55	160.65	53	142.61
	14.90	174	28850	165.46			
	14.80	172	28200	163.92			
51/49	14.80	172	27300	158.69	162.11		
	15.00	177	29800	168.64			
	15.00	177	28100	159.02			
53/47	14.80	172	23600	137.18	142.61		
	14.80	172	25000	145.32			
	14.80	172	25000	145.32			

4. DISEÑO DE MEZCLAS

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

(A.4.1) PROCESO DE DISEÑO

DATOS INICIALES:

Propiedad	Cemento Portland Tipo I	Agregado	
		Fino	Grueso
Peso Especifico (gr/cm ³)	3.15	2.59	2.70
Contenido de Humedad (%)		0.74	0.45
Absorción		1.63	0.74
Tamaño Nominal Máximo			1"

Optima Relación : 48/52
 Arena : 48
 Piedra : 52

1. **Asentamiento Requerido** : 3" a 4" pulgadas
2. **Agua de Mezclado** : 197 lt/m³
3. **Aire Atrapado** : 1.5%
4. **Relación agua-cemento** : 0.60
5. **Cemento** : 328 Kg (a/c)=0.60
c= 197/0.60
6. **Volumen de Agregados** :

Volumen de Agregado = 0.684 m³
 A Volumen de Arena = 0.328
 B Volumen de Piedra = 0.356
 C Peso de Arena = 850 Kg
 D Peso de Piedra = 961 Kg

Insumos	UND	Diseño Seco	Volumen Absoluto
Cemento	Kg	328	0.104
Agua	lt	197	0.197
Arena	Kg	850	0.328
Piedra	Kg	961	0.356
Aire Atrapado	%	1.5	0.015

7. Corrección por Humedad:

Peso Húmedo de la Arena (A₀)
 $A_0 = \text{Peso Arena} \times (1 + CH_{\text{arena}}/100)$
 A₀ = 856 Kg

Peso Húmedo de la Piedra (P₀)
 $P_0 = \text{Peso Piedra} \times (1 + CH_{\text{piedra}})$
 P₀ = 965 Kg

Corrección de agua:

Aporte de agua por humedad del agregado $((CH-ABS)/100) \times \text{Peso Seco}$.

Aporte de agua por arena = -7.57

Aporte de agua por piedra = -2.79

Aporte de agua del agregado = -10.35

Agua corregido = 207 lt

8. Diseño final para 1 m³ de concreto y 0.02 m³ (3 probetas de 15x30cm)

Insumo	Und	Peso Seco	Peso Húmedo	Peso Unitario	Tanda Húmeda (0.02m ³)	Und
Cemento	Kg	328	328	1.00	6.96	Kg
Agua	lt	197	207	0.63	4.40	lt
Arena	Kg	850	856	2.61	18.16	Kg
Piedra	Kg	961	965	2.94	20.48	Kg

$\Sigma = 7.18$

Factor = 6.96 (50/7.18)

(A.4.2) DISEÑO DE MEZCLA DE PRUEBA

RELACIÓN AGUA-CEMENTO: 0.60

Agua de prueba = 200 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	333	333	1	7.08	Kg
Agua	200	210	0.63	4.47	lt
Piedra	955	959	2.88	20.38	Kg
Arena	844	851	2.55	18.70	Kg

Slump: 5"

Agua de prueba = 197 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	328	328	1	6.96	Kg
Agua	197	207	0.63	4.40	lt
Piedra	961	965	2.94	20.48	Kg
Arena	850	856	2.61	18.16	Kg

Slump: 3 ½"

Agua de prueba = 194 lt/m³

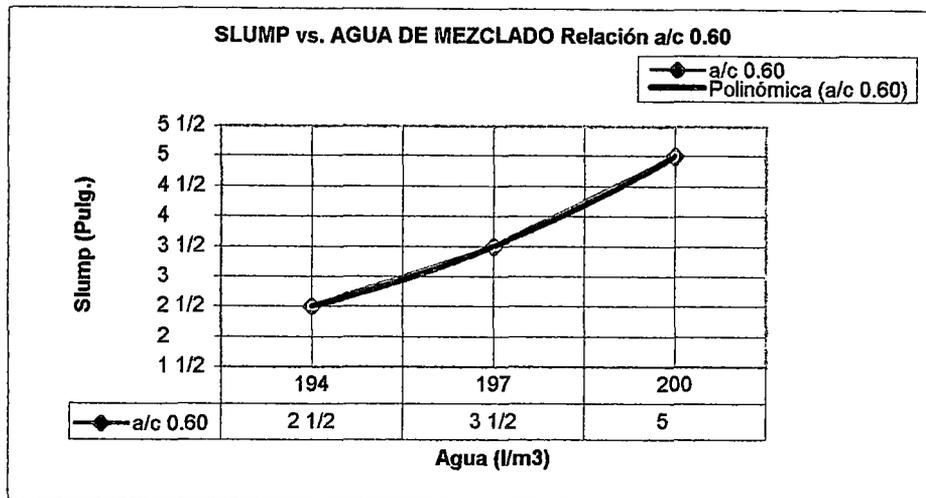
Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	323	323	1	6.85	Kg
Agua	194	204	0.63	4.33	lt
Piedra	968	972	3.01	20.58	Kg
Arena	856	862	2.67	18.25	Kg

Slump: 2 ½"

**Determinación de la Cantidad de Agua Óptima
Relación a/c 0.60**

Agua (lt/m ³)	Slump (pulg)
194	2 ½"
197	3 ½"
200	5"

En la siguiente gráfica se observa que el contenido de agua óptimo es de 197 lt/m³.



RELACION AGUA-CEMENTO: 0.65

Agua de prueba = 205 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	315	315	1	6.37	Kg
Agua	205	215	0.68	4.60	lt
Piedra	956	960	3.04	20.49	Kg
Arena	845	851	2.70	18.18	Kg

Slump: 5 3/4"

Agua de prueba = 195 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	300	300	1	6.37	Kg
Agua	195	206	0.69	4.36	lt
Piedra	977	981	3.27	20.81	Kg
Arena	864	870	2.90	18.46	Kg

Slump: 3 1/4"

Agua de prueba = 190 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	292	292	1	6.18	Kg
Agua	190	201	0.69	4.24	lt
Piedra	987	991	3.39	20.97	Kg
Arena	873	879	3.01	18.60	Kg

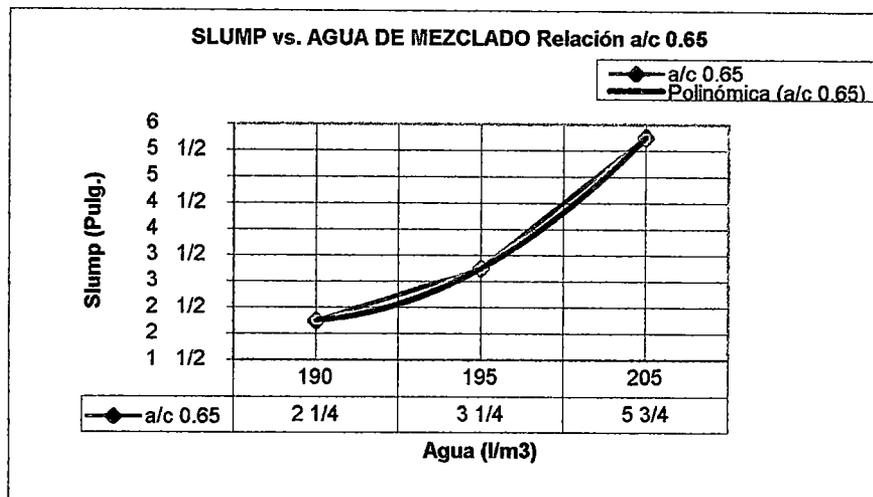
Slump: 2 1/4"

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

Determinación de la Cantidad de Agua Optima Relación a/c 0.65

Agua (lt/m ³)	Slump (pulg)
190	2 ¼"
195	3 ¼"
205	5 ¾"

En la gráfica siguiente se observa que el contenido de agua óptimo es de 196 lt/m³.



RELACION AGUA-CEMENTO: 0.70

Agua de prueba = 198 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	283	283	1	6.02	Kg
Agua	198	209	0.74	4.44	lt
Piedra	980	984	3.48	20.95	Kg
Arena	867	873	3.09	18.59	Kg

Slump: 4 ¼"

Agua de prueba = 194 lt/m³

Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	277	277	1	5.89	Kg
Agua	194	205	0.74	4.35	lt
Piedra	988	993	3.58	21.08	Kg
Arena	874	880	3.18	18.70	Kg

Slump: 2"

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

Agua de prueba = 191 lt/m³

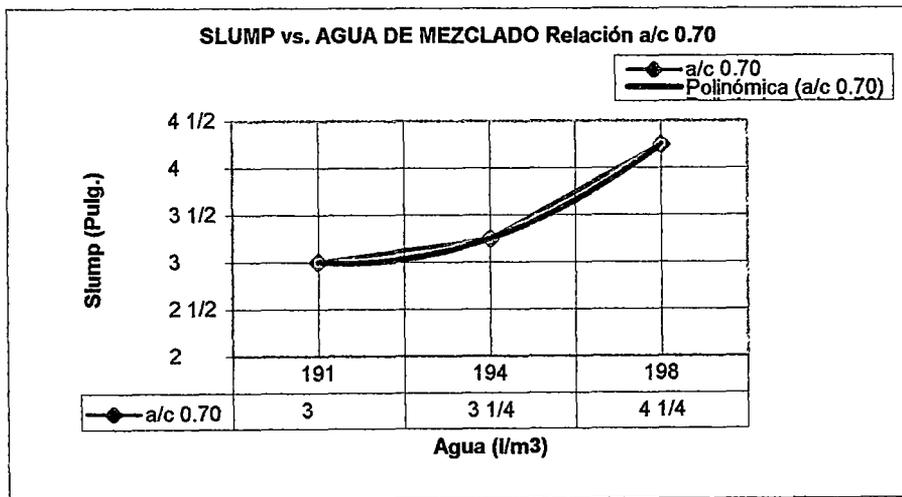
Material	P. Seco	P. Húmedo	P. Unitario	Tanda (0.02 m ³)	Und
Cemento	273	273	1	5.78	Kg
Agua	191	202	0.74	4.28	lt
Piedra	994	999	3.66	21.17	Kg
Arena	879	886	3.25	18.78	Kg

Slump: 3"

**Determinación de la Cantidad de Agua Optima
Relación a/c 0.70**

Agua (lt/m ³)	Slump (pulg)
191	3"
194	3 ¼"
198	1 ¼"

En la gráfica siguiente se observa que el contenido de agua óptimo es de 195 lt/m³.



5. ENSAYOS DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO

METODO DEL CONO DE ABRANS

Cuadro A.5.1

Datos y Resultados	Unidad	Relación a/c		
		0.60	0.65	0.70
Datos del Diseño Seco por m ³				
Cemento	Kg	328	302	279
Agua	Lt	197	196	195
Arena	Kg	850	862	872
Piedra	Kg	961	974	986
Peso Unitario Diseño	Kg/m ³	2336	2334	2332
Datos del Diseño Húmedo por m ³				
Cemento	Kg	328	302	279
Agua	Lt	207	206	206
Arena	Kg	856	868	879
Piedra	Kg	965	979	991
Peso Unitario Diseño	Kg/m ³	2356	2355	2355
Slump Obtenido	Pulgada	3 1/2	3 1/2	3 1/2

ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO RELACION a/c 0.70

MATERIALES	DISEÑO/m3	
	SECO	HUMEDO
Cemento Sol Tipo I	279	279
Agua	195	206
Arena Fina	872	879
Piedra	986	991
		2355

DATOS Y RESULTADOS	
Slump	31/2
Termino de Alisado	11:50
Muestra (Kg)	50
Agua en Muestra (Kg)	4.36

Cuadro A.5.4

HORA	Tiempo (min)		Vol Exc (cm3)	
	Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado
11:50	00:00	00:00	0.0	0.0
12:00	00:10	00:10	4.0	4.0
12:10	00:10	00:20	4.0	8.0
12:20	00:10	00:30	6.0	14.0
12:20	00:10	00:40	4.0	18.0
13:00	00:30	01:10	17.0	35.0
13:30	00:30	01:40	12.0	47.0
14:00	00:30	02:10	1.0	48.0
14:30	00:30	02:40	0.0	48.0

Agua de la Muestra

4360 cm3

Exudación Total

48.0 cm3

porcentaje de Exudación:

1.10 %

ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO.

Vbalde=1/2 p3

Cuadro A.5.5

Datos y Resultados	Unidad	Relacion a/c		
		0.60	0.65	0.70
Peso del balde	Kg	9.1	9.1	9.1
Peso del balde + concreto	Kg	42.50	42.90	43.00
Peso del concreto	Kg	33.40	33.80	33.90
Volumen del balde	m3	0.014158	0.014158	0.014158
Contenido de aire	%	0.13	1.35	1.65
Peso Unitario Real	Kg/m3	2359.09	2387.34	2394.41

DATOS DE DISEÑO HUMEDO POR M3

	%	0.74	0.74	0.74
Contenido humedad (arena)	%	0.74	0.74	0.74
Cemento	Kg	328	302	279
Agua	Lt	207	206	206
Arena	Kg	856	868	879
Piedra	Kg	965	979	991
Peso Unitario de Diseño	Kg/m3	2356	2355	2355

Peso Unitario Real	Kg/m3	2359.09	2387.34	2394.41
Contenido de Aire	%	0.13	1.35	1.65
Peso Unitario de Diseño	Kg/m3	2356.00	2355.00	2355.00
Rendimiento	%	99.87	98.65	98.35

ENSAYO DE FLUIDEZ DEL CONCRETO.

Cuadro A.5.6

RELACIÓN a/c	D1	D2	D3	D4	D5	D6	PROM.	FLUIDEZ (%)
0.60	47.0	47.0	47.0	46.5	47.0	46.0	46.75	87.0
0.65	46.0	46.0	47.0	45.0	46.0	46.0	46.00	84.0
0.70	46.5	46.0	45.5	46.0	45.5	45.0	45.75	83.0

Fluidez=f(%)

Factor de Compactación

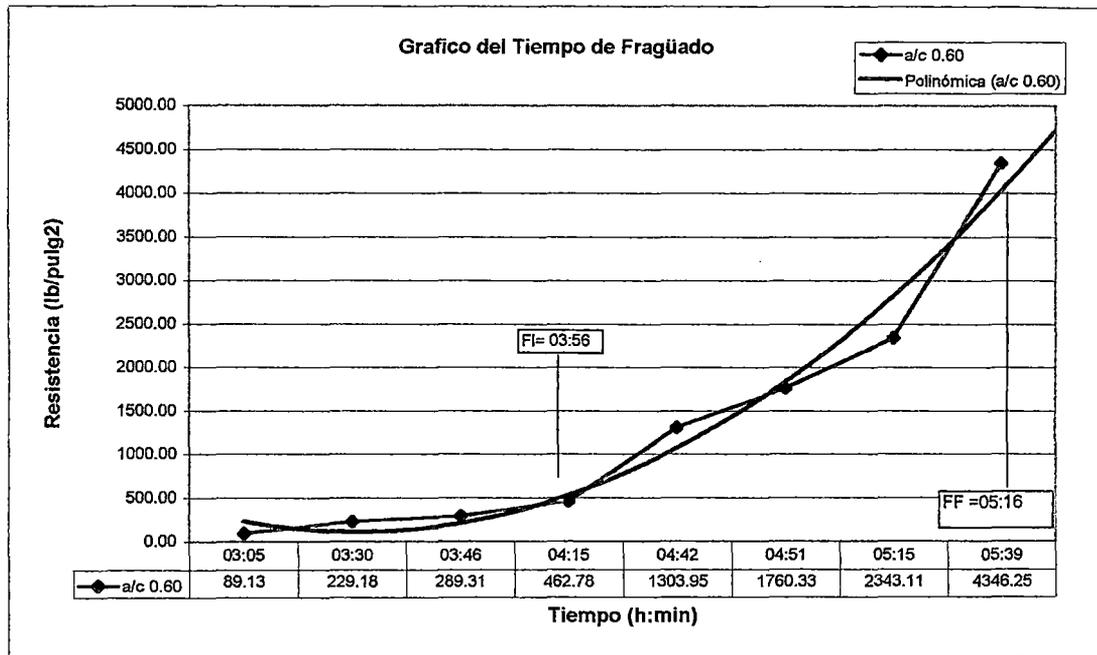
$f(%) = (D-25) \times 100 / 25$

ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGÜADO DEL CONCRETO. Relación a/c 0.60
 MEDIANTE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION.

Cuadros A.5.7
 hora de vaciado

11:45

HORA (h:m)	DIAMETRO DE AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	CARGA (Lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (Lb/pulg ²)	TIEMPO ACUMULADO	TIEMPO ACUMULADO
14:50	1	0.7854	70	89.13	3.08	03:05
15:15	1	0.7854	180	229.18	3.50	15:15
15:31	13/16	0.51848	150	289.31	3.77	15:31
16:00	9/16	0.25	115	462.78	4.25	16:00
16:27	5/16	0.08	100	1303.95	4.70	16:27
16:36	5/16	0.08	135	1760.33	4.85	16:36
17:00	4/16	0.05	115	2343.11	5.25	17:00
17:24	3/16	0.02761	120	4346.25	5.65	17:24
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL 500 psi (hrs)					03:56	
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL 4000 psi (hrs)					05:16	

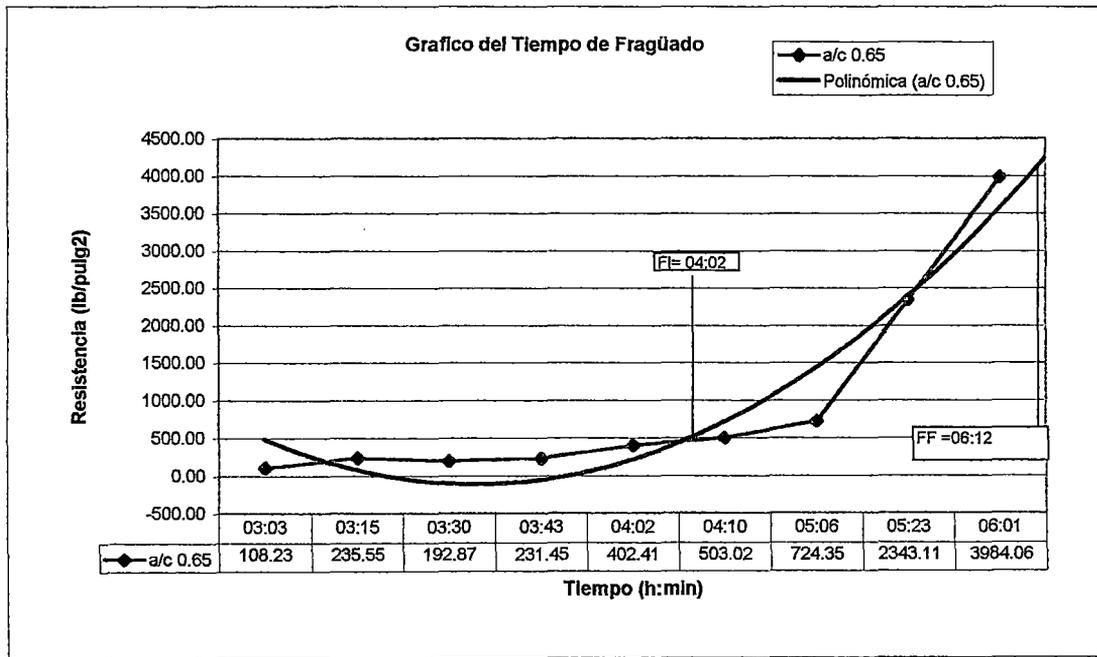


ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGÜADO DEL CONCRETO. Relación a/c 0.65
 MEDIANTE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION.

hora de vaciado

12:15

HORA (h:m)	DIAMETRO DE AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	CARGA (Lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (Lb/pulg ²)	TIEMPO ACUMULADO	TIEMPO ACUMULADO
15:18	1	0.7854	85	108.23	3.05	03:03
15:30	1	0.7854	185	235.55	3.25	15:30
15:45	13/16	0.51848	100	192.87	3.50	15:45
15:58	13/17	0.51848	120	231.45	3.72	15:58
16:17	9/16	0.25	100	402.41	4.03	16:17
16:25	9/17	0.25	125	503.02	4.17	16:25
17:21	5/16	0.25	180	724.35	5.10	17:21
17:38	4/16	0.05	115	2343.11	5.38	17:38
18:16	3/16	0.02761	110	3984.06	6.02	18:16
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL 500 psi (hrs)					04:02	
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL 4000 psi (hrs)					06:12	

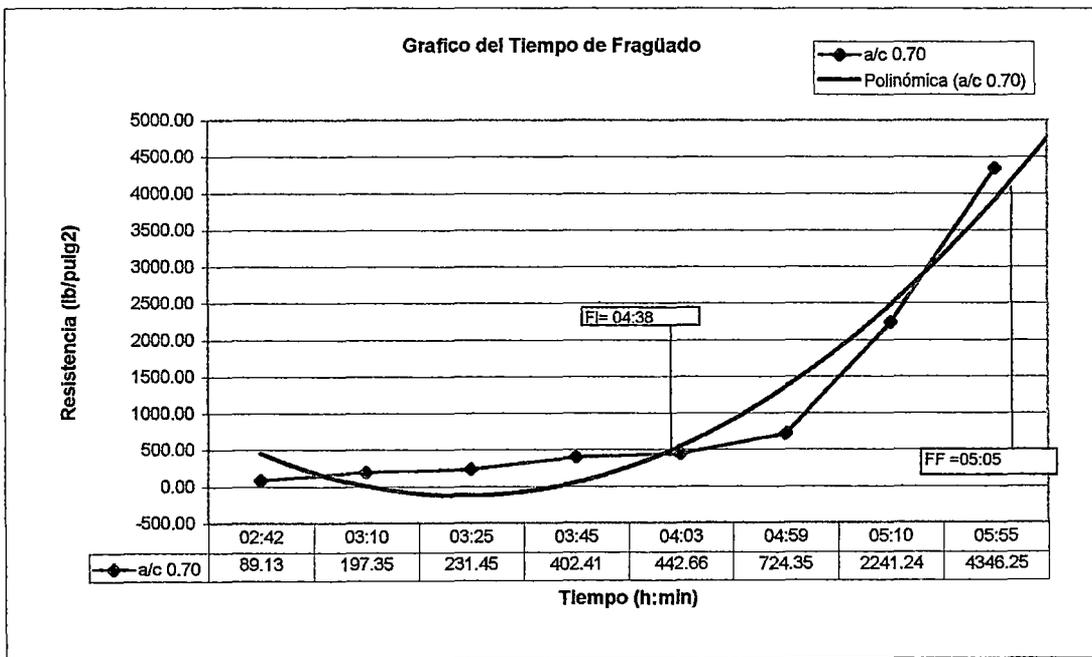


ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGÜADO DEL CONCRETO. Relación a/c 0.70
 MEDIANTE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION.

hora de vaciado

13:05

HORA (h:m)	DIAMETRO DE AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	CARGA (Lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACION (Lb/pulg ²)	TIEMPO ACUMULADO	TIEMPO ACUMULADO
15:47	1	0.7854	70	89.13	3.70	02:42
16:15	1	0.7854	155	197.35	3.17	16:15
16:30	13/16	0.51848	120	231.45	3.42	16:30
16:50	9/16	0.25	100	402.41	4.75	16:50
17:08	9/17	0.25	110	442.66	4.05	17:08
18:04	5/16	0.25	180	724.35	4.98	18:04
18:15	4/16	0.05	110	2241.24	5.17	18:15
19:00	3/16	0.02761	120	4346.25	5.92	19:00
					TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL 500 psi (hrs)	04:38
					TIEMPO DE FRAGUADO FINAL 4000 psi (hrs)	05:05



6. ENSAYOS DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO PATRON

(PROBETAS 6x12")

a/c=0.60

Gráfico A.6.1

Edad	f(Kg)	D(cm)	Area (cm ²)	f c(Kg/cm ²)	Promedio	f c final	
7	39000	14.80	172.03	226.707	188.91	226.707	PROMFINAL
	40000	15.00	176.71	226.360		226.360	
	40000	14.90	174.36	229.409		229.409	
	19500	14.80	172.03	113.353		179.513	
	27200	14.80	172.03	158.113		158.113	
	31300	14.90	174.36	179.513		204.020	
	41400	14.90	174.36	237.438		237.438	
14	41800	14.90	174.36	239.732	235.97	239.732	PROMFINAL
	44600	14.80	172.03	259.259		232.850	
	40600	14.90	174.36	232.850		237.170	
	40800	14.80	172.03	237.170			
	37000	15.00	176.71	209.383		236.798	
	46600	15.00	176.71	263.710		263.710	
28	47400	14.80	172.03	275.536	278.811	275.536	PROMFINAL
	46800	14.90	174.36	268.408		268.408	
	49600	15.00	176.71	280.687		280.687	
	53000	14.80	172.03	308.088		276.438	
	48200	14.90	174.36	276.438		272.956	
	47600	14.80	172.03	276.698		276.698	
42	48000	15.00	176.71	271.632	287.201	271.632	PROMFINAL
	50600	14.80	172.03	294.137		294.137	
	54600	14.80	172.03	317.389		294.791	
	46200	14.80	172.03	268.560			
	51400	14.90	174.36	294.791		284.315	

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO PATRON

(PROBETAS 6x12")

a/c=0.65

Gráfico A.6.2

Edad	f(Kg)	D(cm)	Area (cm2)	f c(Kg/cm2)	Promedio	f c final	
7	32800	15.00	176.71	185.616	197.204	204.174	PROMFINAL
	35600	14.90	174.36	204.174		192.704	
	33600	14.90	174.36	192.704		195.316	
	36000	14.80	172.03	209.268		196.145	
	33600	14.80	172.03	195.316			
	34200	14.90	174.36	196.145		197.085	
14	38200	15.00	176.71	216.174	209.45	216.174	PROMFINAL
	41000	14.80	172.03	238.333		199.967	
	34400	14.80	172.03	199.967		213.350	
	37200	14.90	174.36	213.350		200.733	
	32800	14.90	174.36	188.115			
	35000	14.90	174.36	200.733		207.556	
28	42800	15.00	176.71	242.206	235.06	242.206	PROMFINAL
	38400	14.80	172.03	223.219		256.934	
	38000	15.00	176.71	215.042		240.125	
	43000	15.10	179.07	240.125		232.850	
	40600	14.90	174.36	232.850			
	44200	14.80	172.03	256.934		243.029	
42	46200	14.80	172.03	268.560	258.87	258.085	PROMFINAL
	45000	14.90	174.36	258.085		256.934	
	44200	14.80	172.03	256.934		261.526	
	45600	14.90	174.36	261.526		263.820	
	46000	14.9	174.36	263.82			
	42600	14.9	174.36	244.32		260.091	

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO PATRON

(PROBETAS 6x12")

a/c=0.70

Gráfico A.6.3

Edad	f(Kg)	D(cm)	Area (cm ²)	f _c (Kg/cm ²)	Promedio	f _c final	
7	25800	14.80	172.03	149.975	138.690	130.211	PROMFINAL
	22400	14.80	172.03	130.211		145.325	
	25000	14.80	172.03	145.325		129.616	
	22600	14.90	174.36	129.616		143.954	
	25100	14.90	174.36	143.954		133.057	
	23200	14.90	174.36	133.057		136.433	
	33800	15.00	176.71	191.275		191.275	
14	33600	14.90	174.36	192.704	189.304	192.704	PROMFINAL
	34800	15.00	176.71	196.934		196.934	
	36200	14.90	174.36	207.615		207.615	
	26200	14.80	172.03	152.300		194.998	
	34000	14.90	174.36	194.998		196.705	
	38000	14.80	172.03	220.894		226.360	
28	40000	15.00	176.71	226.360	225.122	227.115	PROMFINAL
	39600	14.90	174.36	227.115		227.869	
	39200	14.80	172.03	227.869		227.115	
	39600	14.90	174.36	227.115		221.380	
	38600	14.90	174.36	221.380		225.968	
	35400	14.9	174.36	203.03		203.027	
42	34800	14.9	174.36	199.59	230.50	240.879	PROMFINAL
	42000	14.9	174.36	240.88		241.820	
	41600	14.8	172.03	241.82		252.350	
	44000	14.9	174.36	252.35		245.308	
	42200	14.8	172.03	245.31		236.677	

RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL.

Gráfico A.6.4

relación a/c	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga (KN)	Resist. a la tracción	
				Kg/cm2	PROM
0.60	14.90	30.00	22400	31.90	30.54
	14.90	30.00	21800	31.05	
	14.80	30.00	20000	28.68	
0.65	15.00	30.00	19000	26.88	26.37
	15.20	30.40	18200	25.07	
	14.90	29.90	19000	27.15	
0.70	14.90	30.30	18000	25.38	21.49
	15.00	29.90	12000	17.03	
	15.00	30.00	15600	22.07	

ANEXO B: CUADROS Y GRAFICOS DE LOS ENSAYOS DE DURABILIDAD

1. Cuadros y gráficos del Ensayo de humedecido, secado y pérdida de peso.
 - Cuadro del incremento peso entre ciclo final y ciclo inicial- Cuadro B.7.1
 - Cuadro del resumen de variación porcentual con respecto al ciclo inicial (%) -Relación a/c 0.60-Cuadro B.7.2 al B.7.4
 - Cuadro del resumen de variación porcentual con respecto al ciclo inicial (%) -Relación a/c 0.65-Cuadro B.7.5 al B.7.7
 - Cuadro del resumen de variación porcentual con respecto al ciclo inicial (%) -Relación a/c 0.70-Cuadro B.7.8 al B.7.10
 - Gráfico de la variación de pesos (gr.) -Relación a/c 0.60-Gráfico B.7.1 al B.7.6
 - Gráfico de la variación de pesos (gr.) -Relación a/c 0.65-Gráfico B.7.7 al B.7.12
 - Gráfico de la variación de pesos (gr.) -Relación a/c 0.70-Gráfico B.7.13 al B.7.18

2. Cuadros del ensayo de resistencia a la compresión de probetas sumergidas en una solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt.
 - Cuadros de la Resistencia a la Compresión de probetas 4x8" sumergidas en sulfato de magnesio-B.7.19 al B.7.21.
 - Cuadros de la Resistencia a la Compresión de probetas 4x8" usadas para obtener el factor de extrapolación-B.7.22 al B.7.24.

1. CUADROS Y GRAFICOS DEL ENSAYO DE HUMEDECIDO, SECADO Y PERDIDA DE PESO.

INCREMENTO PESO ENTRE CICLO FINAL Y CICLO INICIAL

Cuadro D.7.1

MUESTRA	RELACIÓN a/c=0.60		RELACIÓN a/c=0.65		RELACIÓN a/c=0.70	
	dif. Peso (gr) ciclo 18-ciclo 1	Valores Represent.	dif. Peso (gr) ciclo 18-ciclo 1	Valores Represent.	dif. Peso (gr) ciclo 18-ciclo 1	Valores Represent.
M1	19.5	19.5	31.0		63.0	63.0
M2	12	12	38.5		90.5	
M3	21	21	45.5	45.5	50.5	50.5
M4	-0.5		45.5	45.5	72.0	72.0
M5	11	11	61.5	61.5	37.5	
M6	11	11	49.0	49.0	89.0	
M7	4		40.5	40.5	58.0	58.0
M8	11	11	37.5		4.5	
M9	-4		25.0		80.5	
M10	-0.5		65.5	65.5	62.0	62.0
M11	19.5	19.5	46.5	46.5	-25.0	
M12	8.5		44.0	44.0	75.0	75.0
M13	21.5	21.5	48.0	48.0	55.0	55.0
M14	25	25	64.5	64.5	17.5	
M15	-7.5		22.0		24.5	
M16	11.5	11.5	28.0		66.0	66.0
M17	37	37	19.5		59.0	59.0
M18	-4		52.5	52.5	60.0	60.0
M19	12	12	30.5		43.5	
M20	10		16.5		22.0	
M21	13.5	13.5	34.5		70.5	70.5
M22	14		12.0		45.5	
M23	29.5	29.5	69.5	69.5	55.5	55.5
M24	12	12	40.5	40.5	66.0	66.0
M25	5.5		44.5	44.5	63.0	63.0
M26	7.5		52.5	52.5	-10.0	
M27	12	12	33.5		55.5	55.5
M28	20	20	33.0		23.0	
M29	-9.5		46.5	46.5	82.0	
M30	-23.5		51.0	51.0	12.0	
M31					0.5	
VALOR A CONSIDERAR		18		51		62

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro B.7.2

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	100.03	100.08	99.34	100.33	100.02	99.77	100.05	99.80	100.21	100.10
3	99.82	100.18	99.74	99.47	100.14	99.79	100.18	99.90	100.27	100.26
4	99.86	100.01	99.76	99.89	100.04	99.95	100.04	99.65	100.26	100.28
5	99.94	100.12	99.83	99.85	100.12	100.00	100.10	99.43	100.30	100.32
6	99.92	100.00	99.80	100.04	100.00	99.95	100.10	99.66	100.21	100.10
7	99.86	99.87	99.79	99.67	99.91	99.83	100.10	99.69	100.20	100.14
8	100.15	100.05	100.04	100.28	100.21	100.23	100.40	100.12	100.49	100.19
9	100.01	100.01	100.02	100.18	100.10	100.22	100.27	100.10	100.47	100.27
10	99.73	99.87	99.96	100.09	100.04	100.10	99.96	99.96	100.35	100.09
11	99.76	100.00	99.53	100.15	99.99	99.89	100.18	100.01	100.27	100.26
12	99.73	99.77	99.66	100.16	99.91	99.96	100.10	99.96	100.27	100.23
13	99.65	99.78	99.63	100.09	99.84	99.91	100.06	100.12	100.25	100.14
14	99.50	99.69	99.48	100.01	99.73	99.73	99.90	99.73	100.10	100.01

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 MUESTRAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro B.7.3

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	99.90	100.10	99.97	99.95	100.21	99.83	99.18	100.05	100.16	100.01
3	99.68	99.75	99.80	99.26	100.40	99.42	98.74	99.94	100.09	100.06
4	99.81	99.96	99.61	99.54	100.29	99.61	99.16	99.97	100.14	100.09
5	99.73	100.04	99.69	99.63	100.22	99.58	99.31	100.16	100.26	100.21
6	99.81	100.00	99.85	99.50	100.35	99.64	99.20	100.01	99.76	100.14
7	99.64	99.94	99.53	99.53	100.37	99.70	99.11	100.05	99.85	100.12
8	99.99	100.11	99.80	99.91	100.68	100.23	99.51	100.38	100.24	100.19
9	99.81	100.15	99.82	99.81	100.55	100.22	99.50	100.32	100.20	100.19
10	99.85	100.05	99.57	99.48	100.47	100.15	99.29	100.25	100.06	100.06
11	99.71	100.10	99.72	99.70	100.51	100.18	99.42	100.35	100.15	99.95
12	99.70	99.94	99.71	99.43	100.37	99.98	99.26	100.33	99.90	99.99
13	99.65	99.91	99.59	99.48	100.30	99.99	99.24	100.24	99.84	99.93
14	99.52	99.78	99.45	99.38	100.19	99.72	99.09	100.10	99.70	99.75

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.60

Cuadro B.7.4

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	100.08	100.06	100.01	100.06	100.08	100.10	100.02	100.03	100.19	100.03
3	100.10	99.91	99.62	99.89	99.20	99.84	100.06	100.00	100.22	100.33
4	100.10	100.02	99.71	99.91	99.56	99.95	100.02	100.03	100.26	100.33
5	100.11	100.16	99.71	99.94	99.54	100.16	100.05	100.08	100.38	100.25
6	100.06	99.73	99.49	99.77	100.06	100.05	100.04	99.75	100.32	100.84
7	100.05	99.83	99.50	99.76	100.03	99.81	99.84	99.54	100.13	100.80
8	99.94	100.23	99.79	100.05	100.36	100.12	100.15	100.08	100.48	101.14
9	100.04	100.19	99.76	99.94	100.13	100.05	100.14	99.80	100.49	101.10
10	99.86	99.95	99.65	99.90	100.06	100.02	99.93	99.74	100.41	100.98
11	99.91	100.04	99.53	99.91	100.16	100.02	99.99	99.80	100.51	101.05
12	99.81	99.86	99.57	99.91	100.13	100.02	99.89	99.77	100.47	100.80
13	99.80	99.78	99.51	99.82	99.96	99.93	99.86	99.62	100.38	100.76
14	99.66	99.65	99.28	99.70	99.86	99.81	99.70	99.50	100.25	100.59

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro B.7.5

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	100.00	99.41	100.01	100.02	99.40	100.01	99.91	99.76	99.92	100.00
3	99.86	99.66	100.02	99.86	99.57	99.85	99.90	99.95	99.71	100.05
4	100.08	99.68	100.06	99.79	99.60	99.95	99.95	100.00	99.83	100.13
5	100.15	99.61	99.67	99.91	99.44	99.35	99.95	99.99	99.90	100.17
6	99.94	99.50	98.61	99.83	99.27	99.45	99.88	99.68	99.68	99.05
7	99.94	99.16	99.04	99.16	99.20	99.16	99.69	99.11	99.65	99.57
8	99.71	99.01	99.05	99.30	99.09	99.14	99.65	98.91	99.56	99.47
9	99.74	99.03	99.07	99.06	99.03	99.02	99.54	99.06	99.22	99.35
10	99.65	99.09	99.05	99.26	99.08	99.08	99.29	99.14	99.42	99.34
11	99.69	99.08	98.78	99.21	98.05	98.55	99.48	99.14	99.32	98.92
12	99.61	98.99	98.82	98.68	98.35	98.68	99.25	99.07	99.22	99.07
13	99.17	99.06	98.93	98.95	98.50	98.86	98.92	98.94	99.41	99.21
14	99.22	99.04	98.88	98.88	98.47	98.79	98.99	99.07	99.40	98.34

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lit
 MUESTRAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro B.7.6

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	100.04	100.12	100.01	100.01	100.14	100.11	99.67	100.05	100.18	100.48
3	100.01	99.76	100.01	99.99	100.12	99.91	99.95	100.05	100.28	100.42
4	100.05	99.88	99.96	99.99	100.16	100.01	99.97	99.84	100.34	100.49
5	99.88	99.89	99.28	99.86	100.21	100.08	99.92	100.01	100.38	100.52
6	99.02	99.78	99.18	99.52	99.51	99.71	99.75	99.81	100.23	100.36
7	99.54	99.66	99.30	99.71	99.78	99.79	99.73	99.68	100.03	100.06
8	99.44	99.53	99.25	99.68	99.71	99.69	99.64	99.57	100.04	99.89
9	99.29	99.21	99.02	99.08	99.68	99.44	99.57	99.48	99.99	99.94
10	99.32	98.88	98.64	99.31	99.70	99.25	99.63	99.52	100.00	99.99
11	99.28	99.36	98.95	99.30	99.36	99.44	99.55	99.45	99.38	99.80
12	99.15	99.13	98.60	97.94	99.33	99.34	99.50	98.42	99.46	99.31
13	99.37	98.83	98.85	98.39	99.51	99.34	99.50	98.79	99.66	99.65
14	98.84	98.90	98.81	98.42	99.45	99.30	99.50	98.68	99.22	99.58

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.65

Cuadro B.7.7

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	100.32	100.15	99.97	100.02	100.05	99.99	100.04	99.56	100.04	100.04
3	100.42	100.06	99.90	99.99	99.78	99.98	99.72	99.99	100.03	100.00
4	100.47	100.15	99.97	99.65	99.94	100.05	99.87	100.02	99.55	99.68
5	100.26	99.86	100.00	100.04	99.99	100.04	99.90	100.02	99.99	99.29
6	100.22	99.89	99.32	99.91	99.90	99.85	99.34	99.93	99.85	99.17
7	100.07	99.88	99.00	98.95	99.70	99.78	99.65	98.97	99.42	99.26
8	99.79	99.83	98.92	99.35	99.24	99.71	99.31	99.25	99.33	99.17
9	99.85	99.79	98.78	99.18	99.40	99.48	98.92	99.25	99.27	98.59
10	99.90	99.70	99.04	99.29	99.45	99.08	99.25	99.25	99.33	98.75
11	98.78	99.68	98.83	99.27	98.32	99.41	99.11	99.14	98.76	98.90
12	99.23	99.71	98.82	98.28	98.83	98.61	99.03	99.12	98.91	98.79
13	99.36	99.80	98.98	98.99	98.96	98.54	99.21	99.19	99.14	98.99
14	99.16	99.70	98.21	98.99	98.89	98.70	99.16	99.18	98.81	98.74

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 1 AL 10

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro B.7.8

CICLOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	100.11	100.02	98.99	100.22	100.19	99.95	99.90	100.91	100.01	100.36
3	99.08	98.24	98.93	99.62	99.51	99.72	99.53	99.59	99.78	98.54
4	99.18	98.65	98.96	99.69	99.96	99.78	99.87	100.31	99.80	99.38
5	99.03	98.98	98.90	99.74	99.86	99.75	99.53	100.24	99.54	99.40
6	99.48	98.89	99.30	100.11	100.04	99.57	99.89	100.01	99.76	99.25
7	99.37	98.53	99.14	99.81	99.49	98.94	99.24	99.63	99.54	99.16
8	99.05	98.49	98.60	99.02	99.55	98.89	99.25	99.81	99.05	97.76
9	99.31	98.84	98.70	99.72	99.71	98.49	99.50	100.10	98.98	98.65
10	99.22	98.19	98.71	99.60	99.36	98.25	99.28	99.73	99.07	98.30
11	97.65	98.08	98.39	99.16	99.10	97.75	98.51	99.53	98.39	98.01
12	98.32	98.23	98.68	98.86	98.54	98.03	98.82	99.89	98.82	98.33
13	98.38	98.51	98.66	99.26	99.00	98.20	99.03	100.07	98.80	98.53
14	98.44	97.79	98.77	98.22	99.07	97.80	98.53	99.89	97.99	98.44

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 11 AL 20

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro B.7.9

CICLOS	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	101.14	98.76	99.58	100.49	101.20	99.46	100.03	99.63	99.45	99.94
3	100.98	99.08	99.04	100.35	100.91	99.58	99.72	99.96	99.24	100.18
4	100.80	99.04	99.14	99.91	100.72	99.11	99.44	99.76	99.03	99.87
5	100.79	99.05	99.18	100.01	100.83	99.47	99.40	99.74	99.14	99.88
6	100.56	99.03	98.65	100.00	100.68	99.42	99.43	99.74	99.49	99.91
7	100.76	98.90	98.85	100.04	99.83	99.11	99.45	99.76	99.03	99.68
8	100.49	98.15	98.43	99.80	100.11	97.60	98.89	99.25	99.05	99.50
9	100.84	98.58	98.86	100.08	99.96	98.37	99.24	99.41	99.29	99.62
10	100.51	98.49	98.84	100.03	99.96	98.39	99.05	99.33	99.21	99.49
11	100.10	98.03	98.21	99.41	98.70	97.80	98.40	98.19	98.68	99.26
12	100.31	97.96	98.55	99.87	99.25	98.01	98.55	98.01	98.99	99.46
13	100.59	98.14	98.48	99.89	99.30	98.33	98.09	98.44	98.89	99.37
14	100.63	98.15	98.61	99.56	99.39	98.37	98.50	98.52	98.91	99.44

RESUMEN DE VARIACIÓN PORCENTUAL CON RESPECTO AL CICLO INICIAL (%)

ENSAYO HUMEDECIDO Y SECADO POR PERDIDA DE PESO
 CEMENTO : PORTLAND TIPO I-SOL
 SOLUCIÓN MAGNESIO DE SULFATO 100 gr/lt
 MUESTRAS: 21 AL 30

PROBETAS : 4x8"
 DOSIFICACIÓN : CEMENTO 1
 AGUA 0.70

Cuadro B.7.10

CICLOS	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	99.81	100.16	99.25	100.09	100.19	101.25	99.41	100.76	98.91	101.04	101.15
3	99.50	99.97	99.33	99.76	99.98	101.01	99.76	99.48	99.17	100.62	100.78
4	99.50	99.67	99.49	99.69	99.01	100.47	99.80	100.24	98.83	100.63	100.71
5	99.68	99.54	99.49	99.65	99.17	100.53	99.48	100.15	99.12	99.69	100.60
6	99.55	98.98	99.25	99.29	99.22	100.53	99.85	99.35	99.07	100.36	100.42
7	99.42	98.91	99.19	98.47	99.11	100.12	99.61	99.42	99.16	100.09	100.58
8	99.13	98.65	99.02	98.64	98.43	100.12	98.52	99.27	98.16	99.48	100.31
9	98.69	99.05	99.19	98.69	98.89	100.59	99.32	99.38	98.67	99.68	100.33
10	98.71	98.98	98.75	98.63	98.90	100.25	99.21	99.42	98.69	99.69	100.40
11	97.14	98.60	98.03	97.63	98.26	99.91	97.67	98.94	98.19	98.69	99.47
12	98.00	98.61	98.53	98.23	97.94	100.32	98.35	99.32	98.62	99.45	99.67
13	98.24	98.82	98.73	98.28	98.52	100.00	98.56	99.49	98.78	99.65	99.90
14	98.25	98.86	98.70	98.35	98.48	100.26	98.60	99.43	97.94	99.69	99.99

GRAFICOS DE VARIACIÓN DE PESO (gr.)

1. Relación agua-cemento 0.60.
2. Relación agua-cemento 0.65.
3. Relación agua-cemento 0.70.

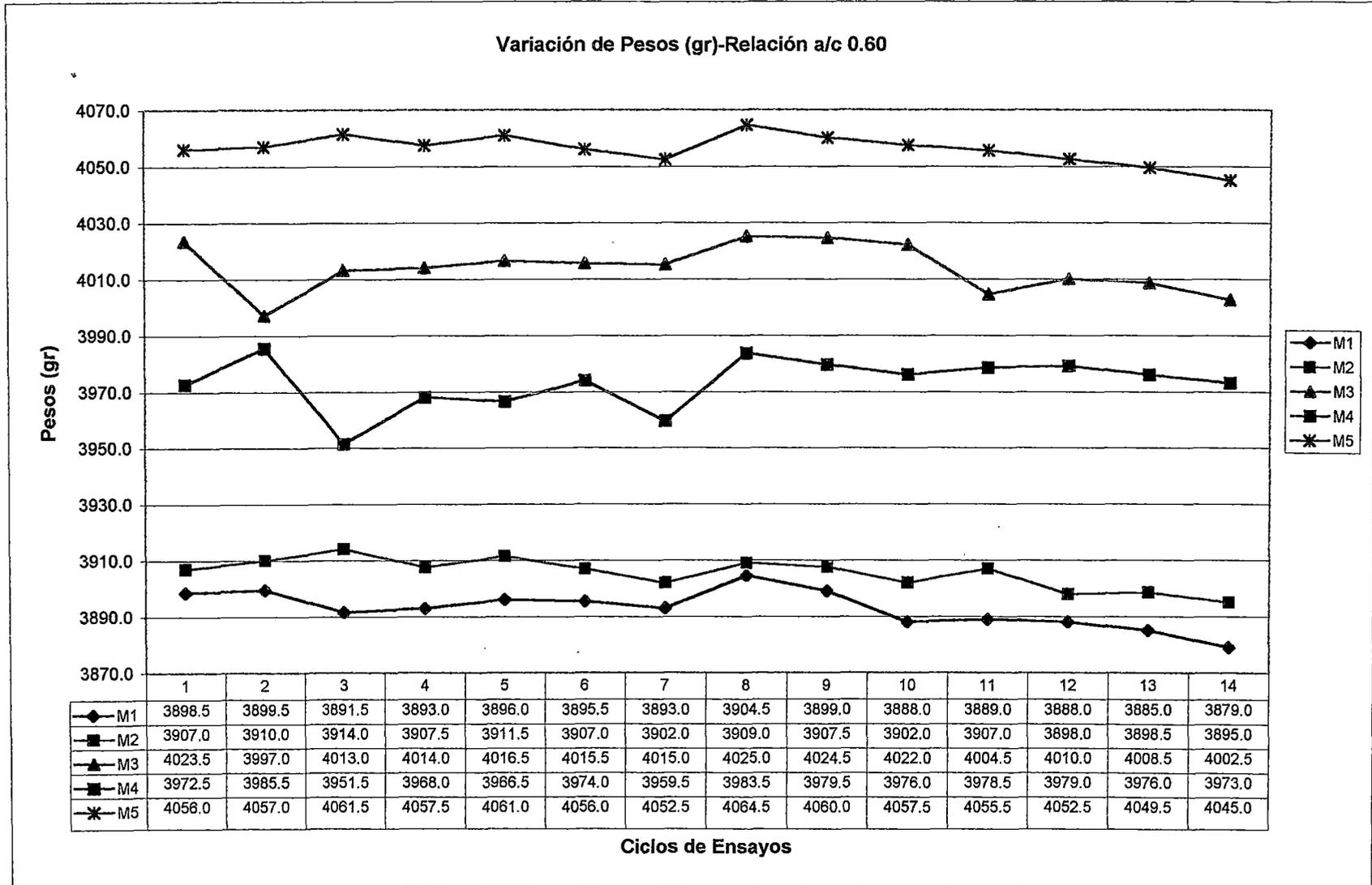
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.60

MUESTRAS: M1 AL M5

Gráfico B.7.1



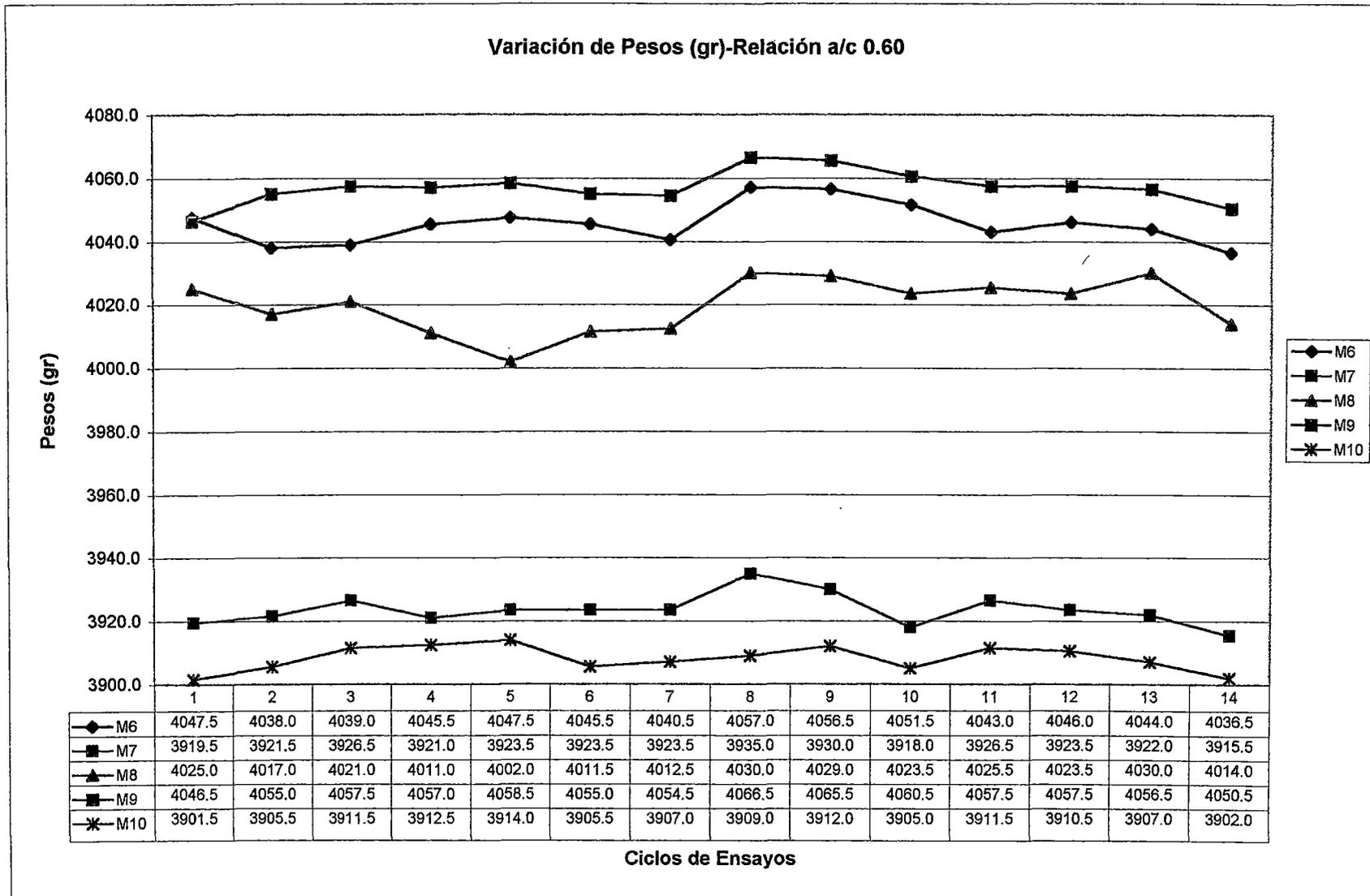
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.60

MUESTRAS: M6 AL M10

Gráfico B.7.2



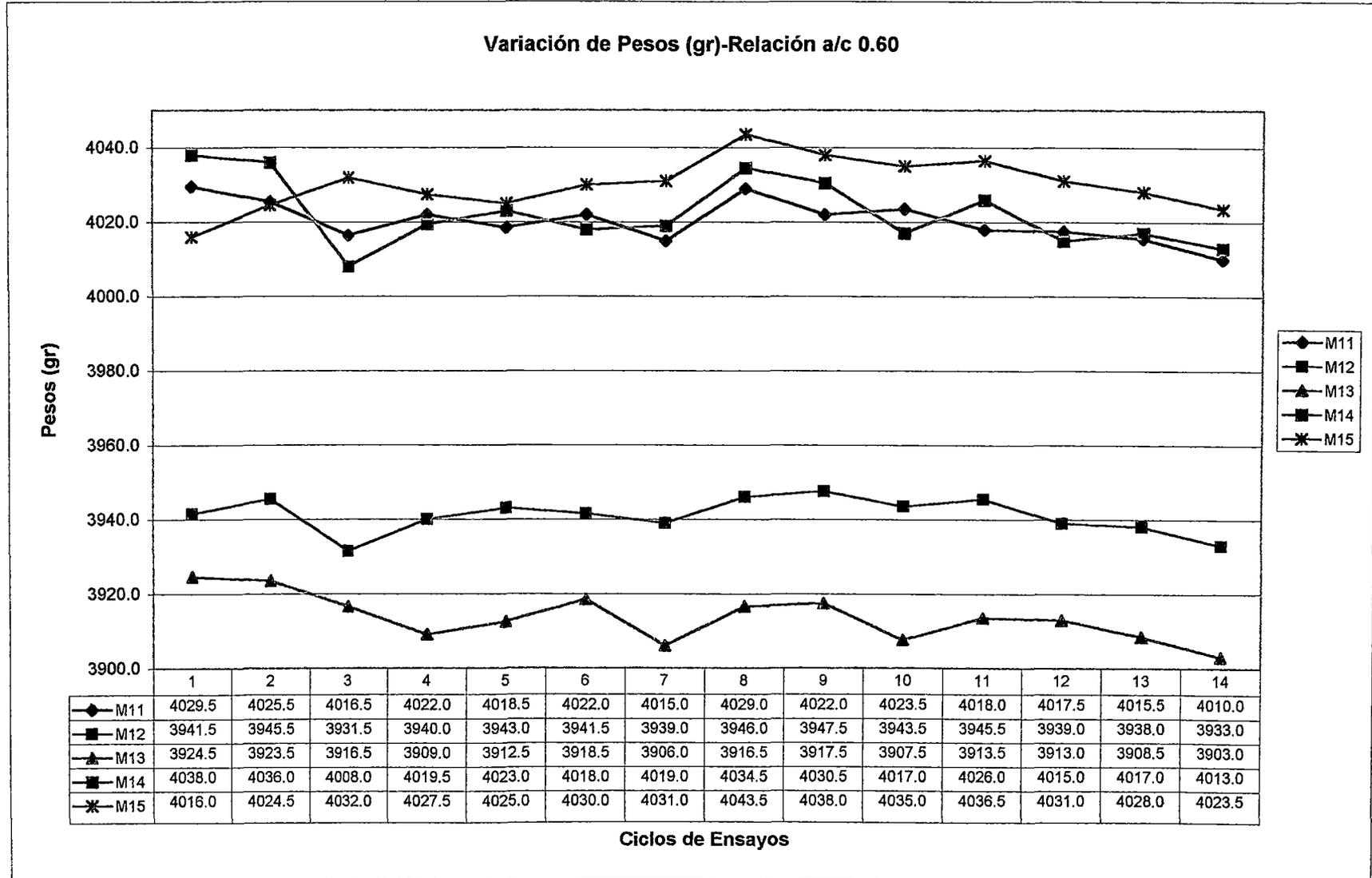
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.60

MUESTRAS: M11 AL M15

Gráfico B.7.3



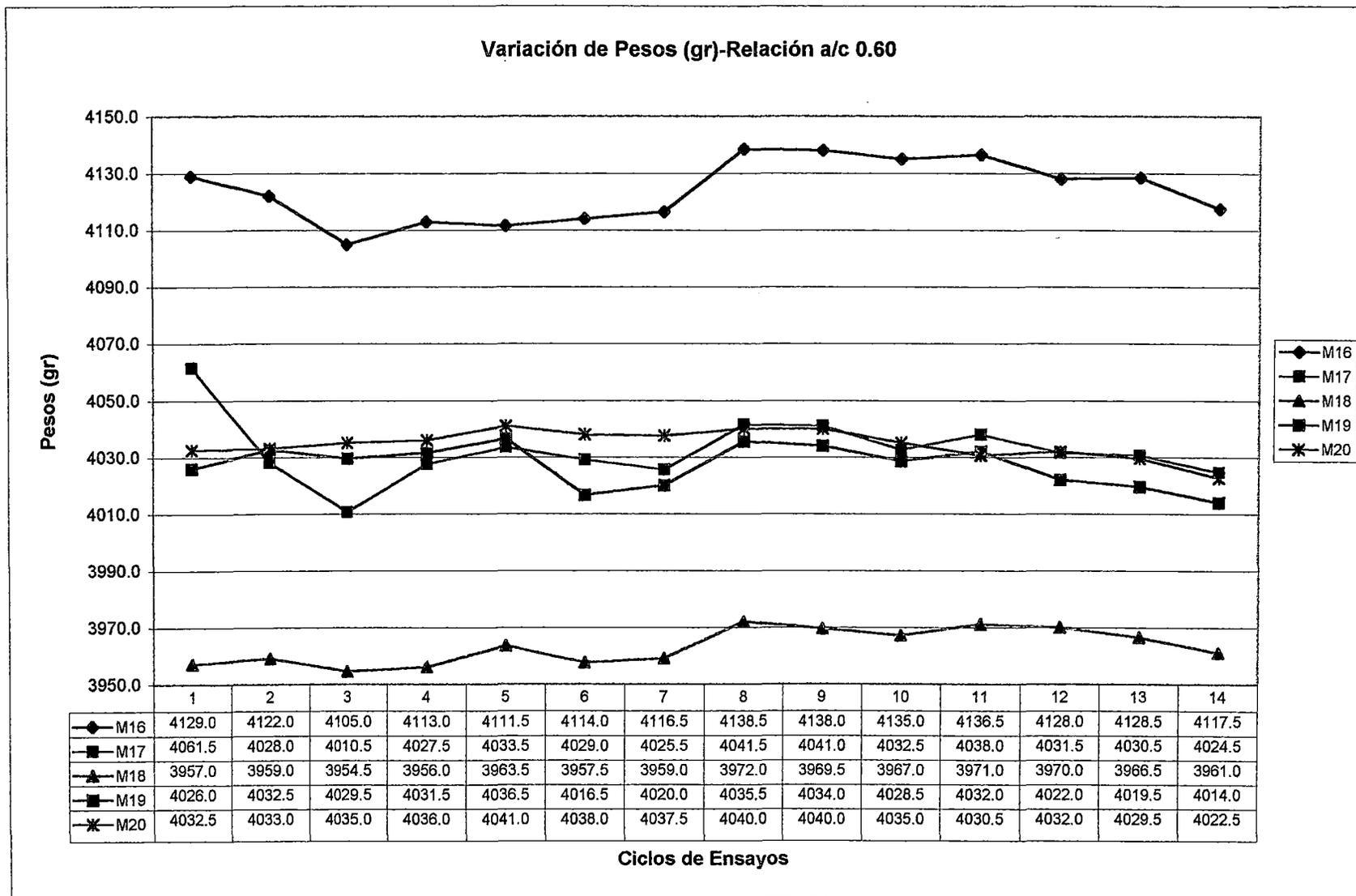
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.60

MUESTRAS: M16 AL M20

Gráfico B.7.4



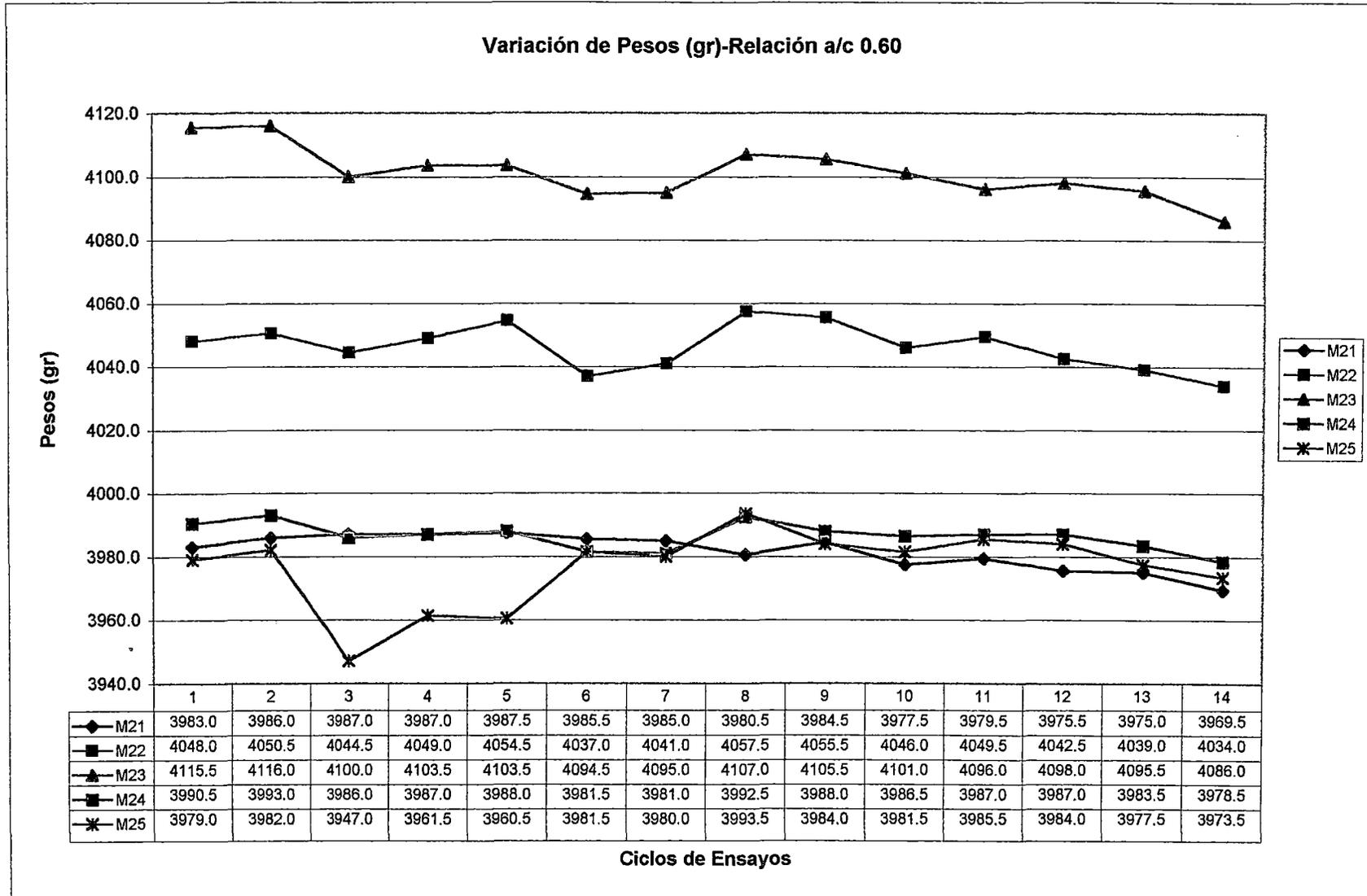
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.60

MUESTRAS: M21 AL M25

Gráfico B.7.5



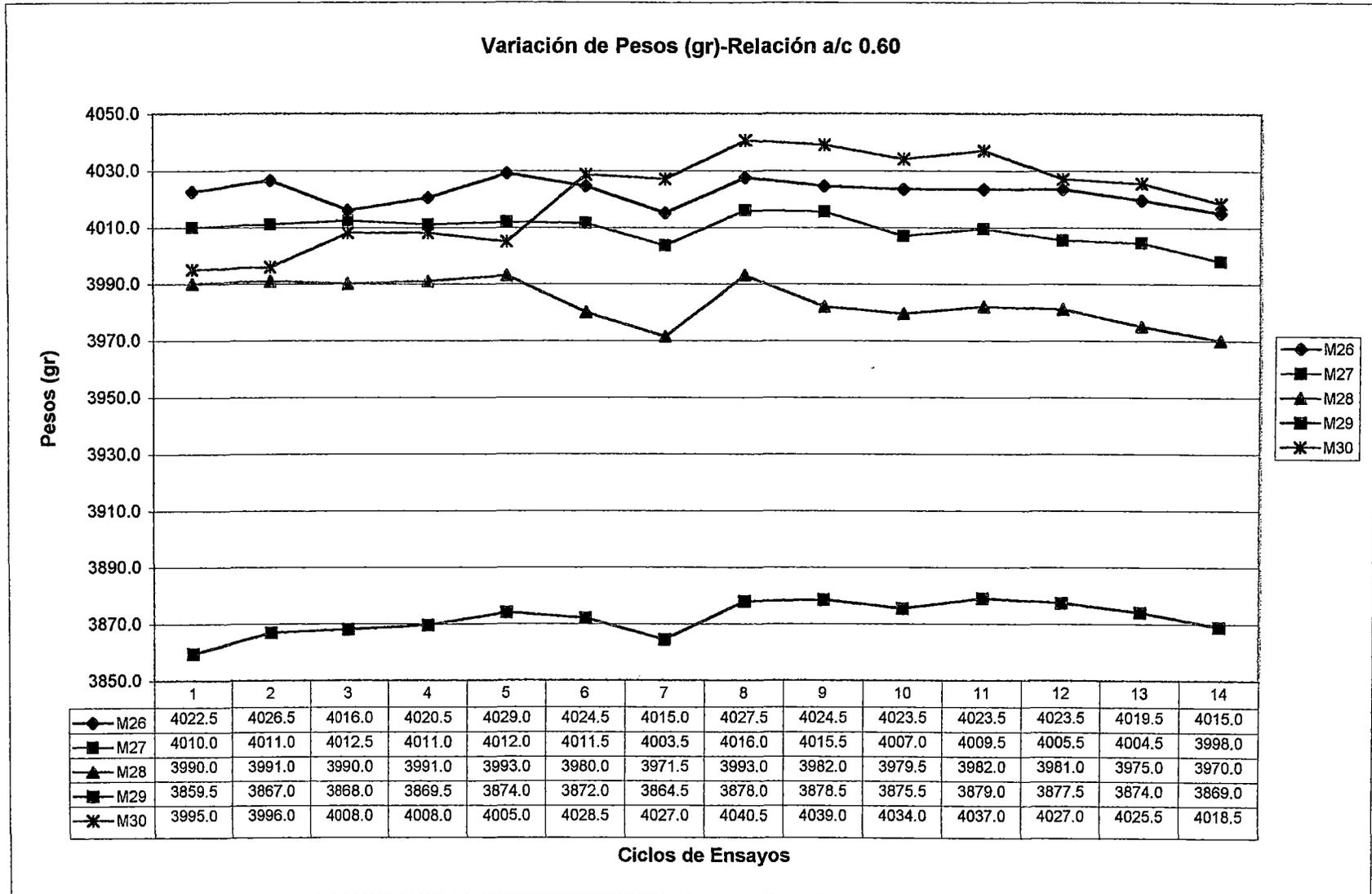
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.60

MUESTRAS: M26 AL M30

Gráfico B.7.6



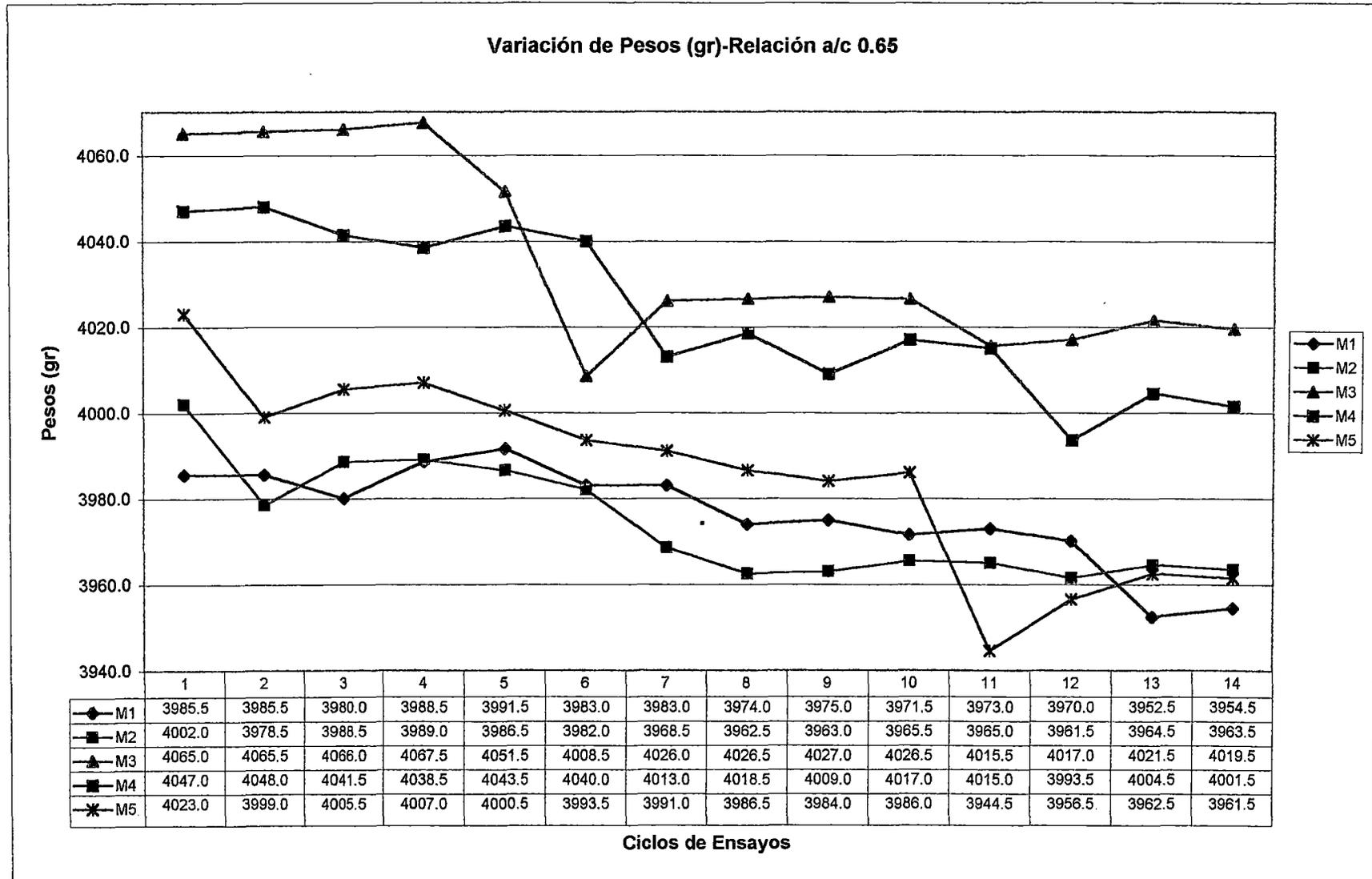
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.65

MUESTRAS: M1 AL M5

Gráfico B.7.7



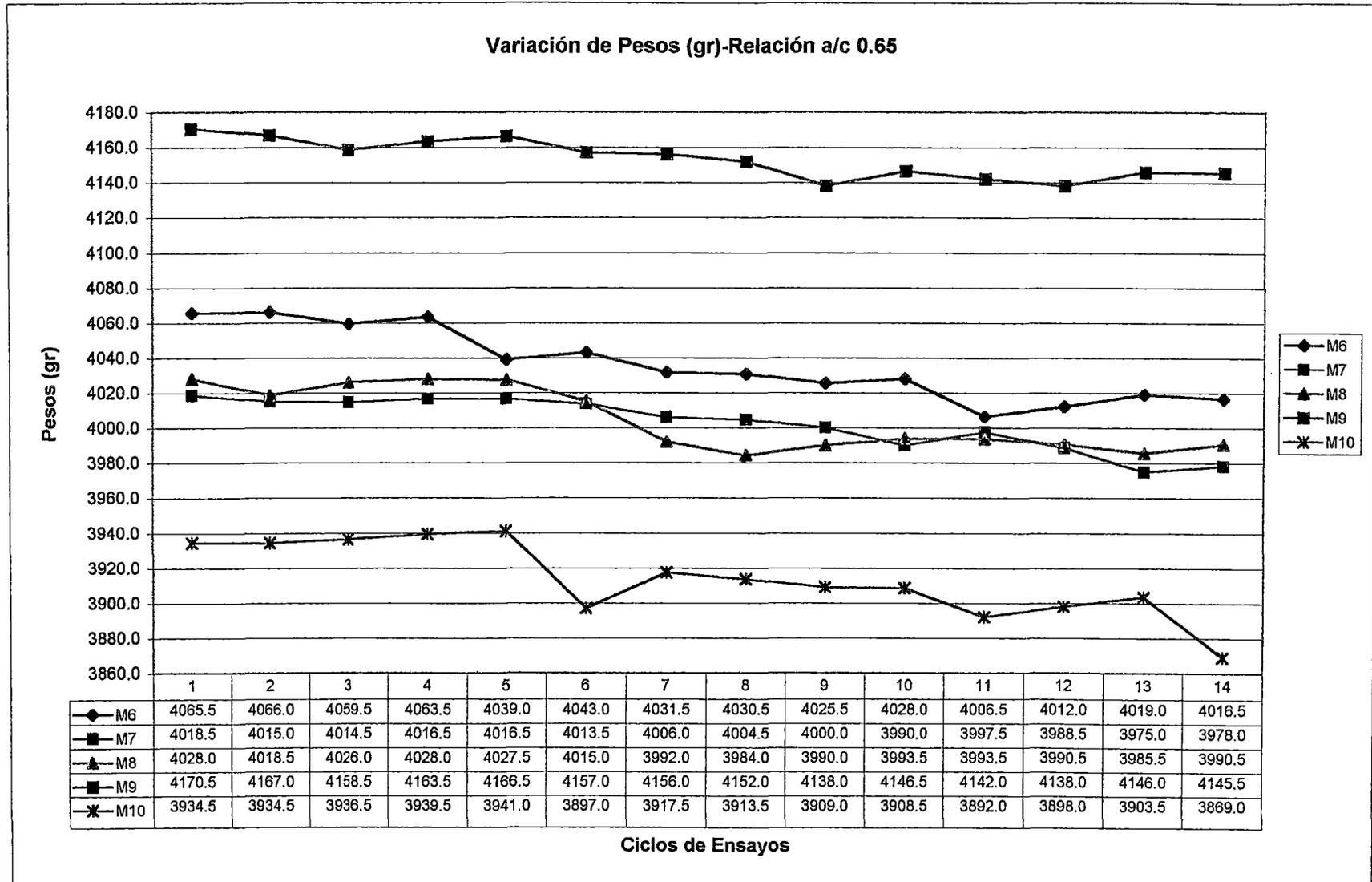
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.65

MUESTRAS: M6 AL M10

Gráfico B.7.8



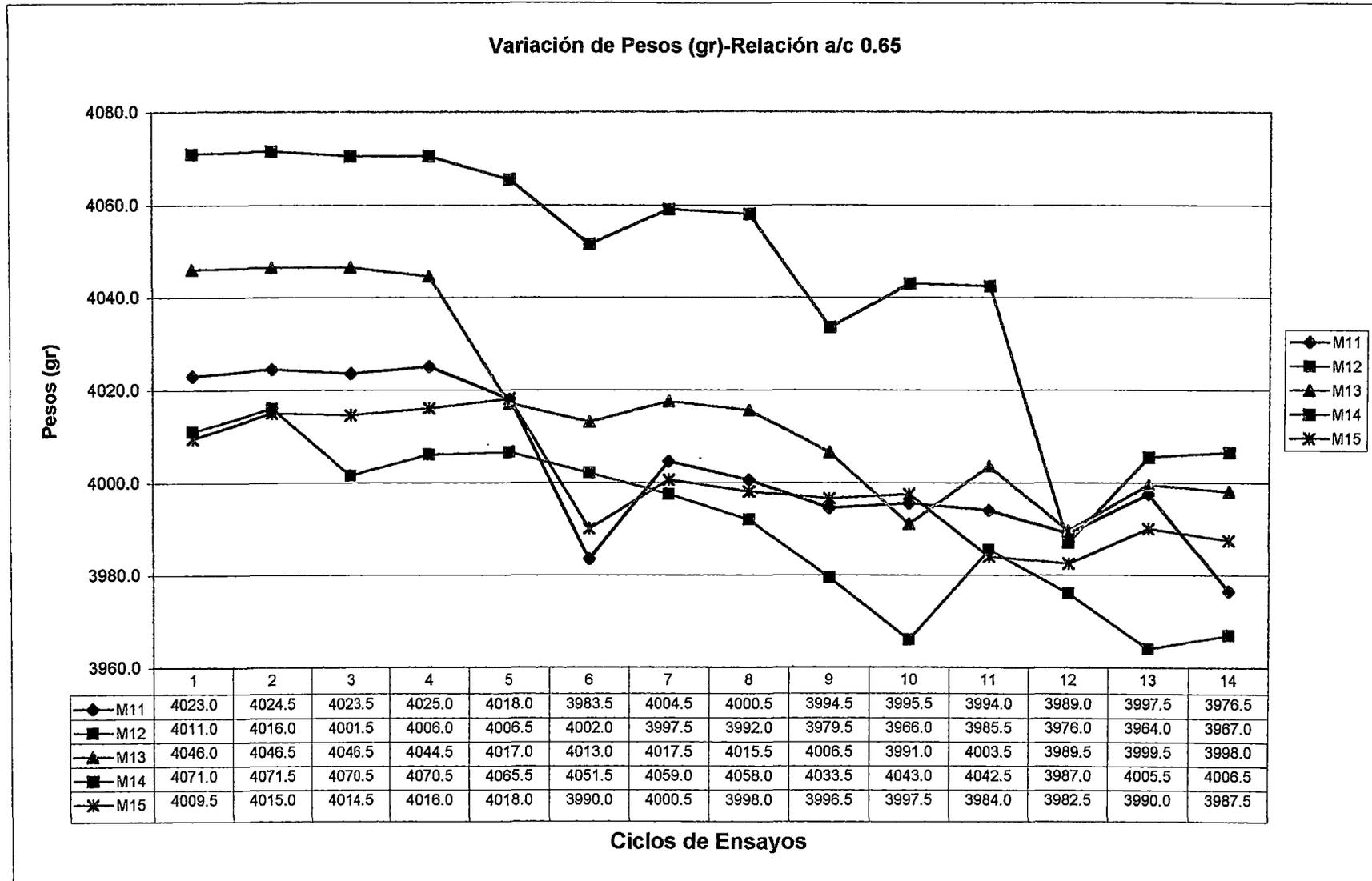
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.65

MUESTRAS: M11 AL M15

Gráfico B.1.9



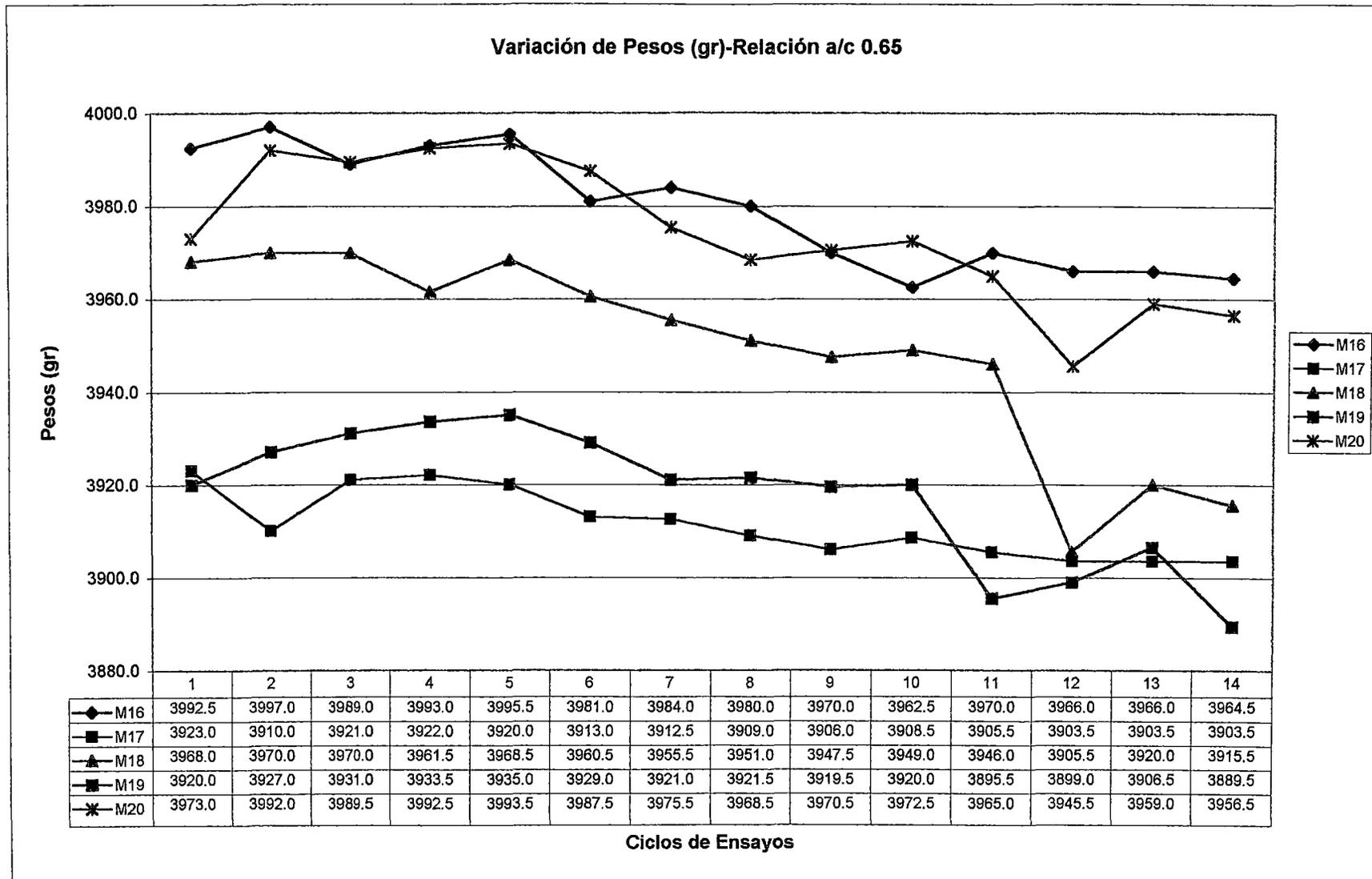
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.65

MUESTRAS: M15 AL M20

Gráfico B.7.10



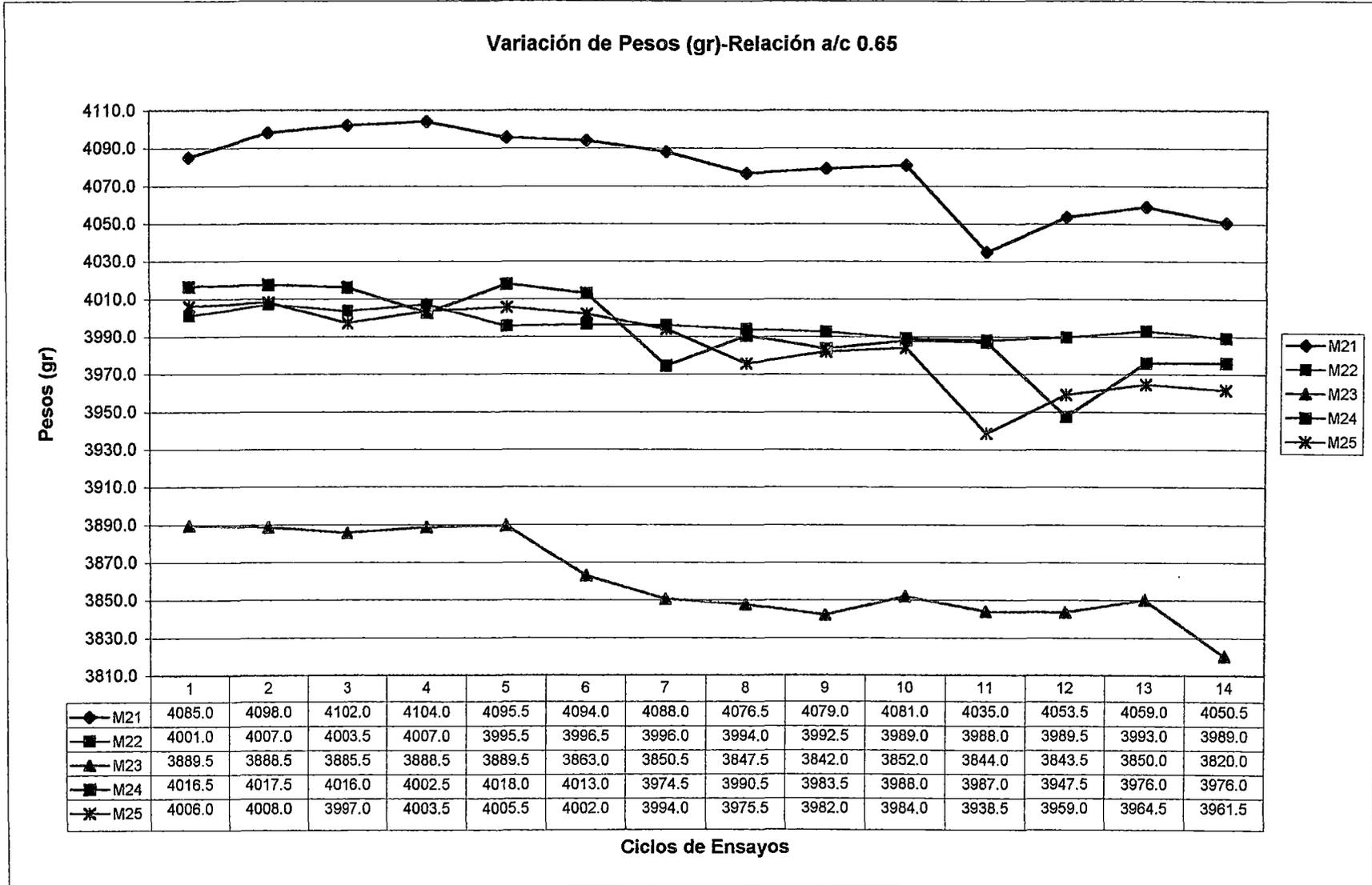
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.65

MUESTRAS: M21 AL M25

Gráfico B.7.11



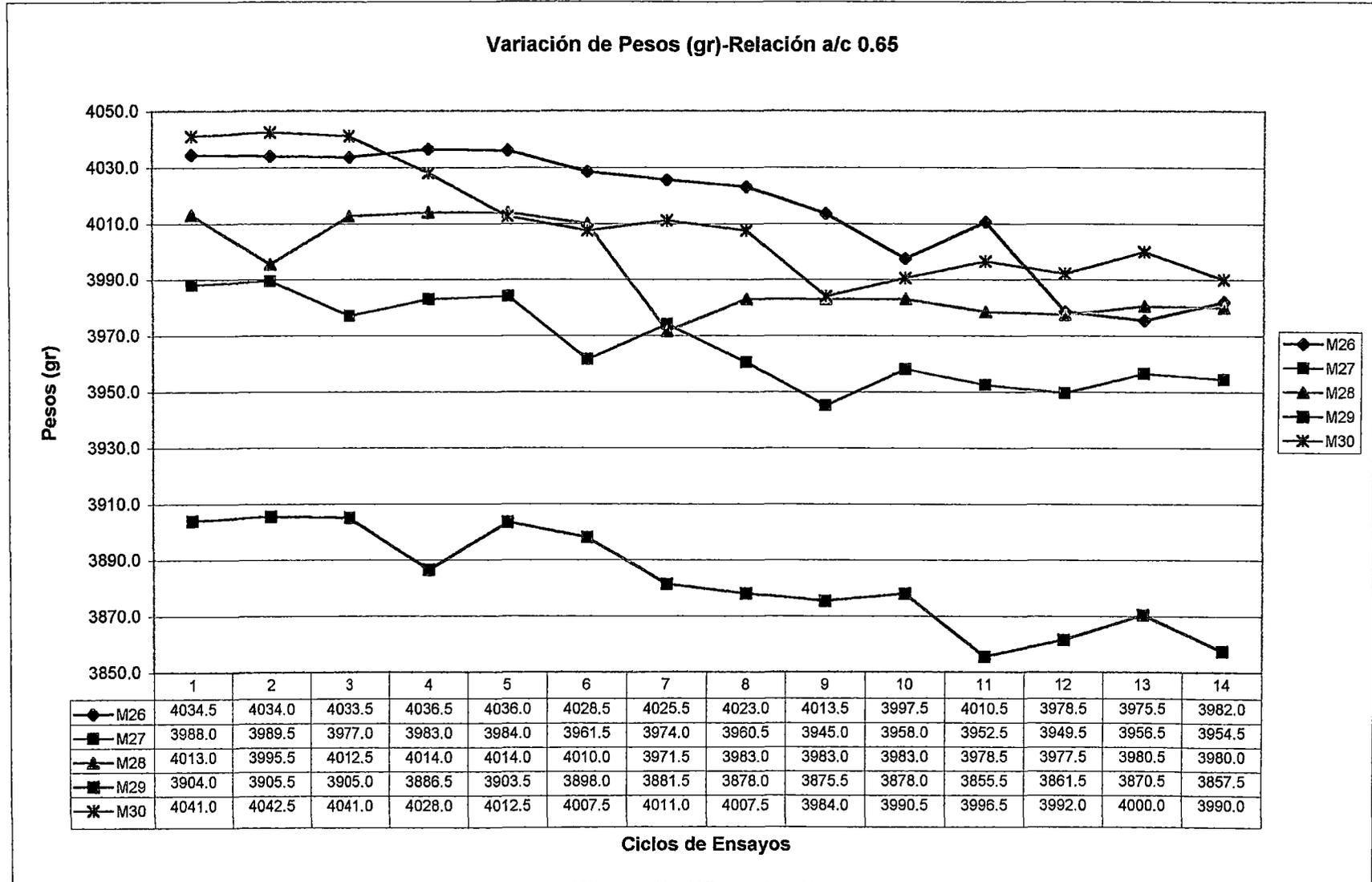
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.65

MUESTRAS: M26 AL M30

Gráfico B.7.12



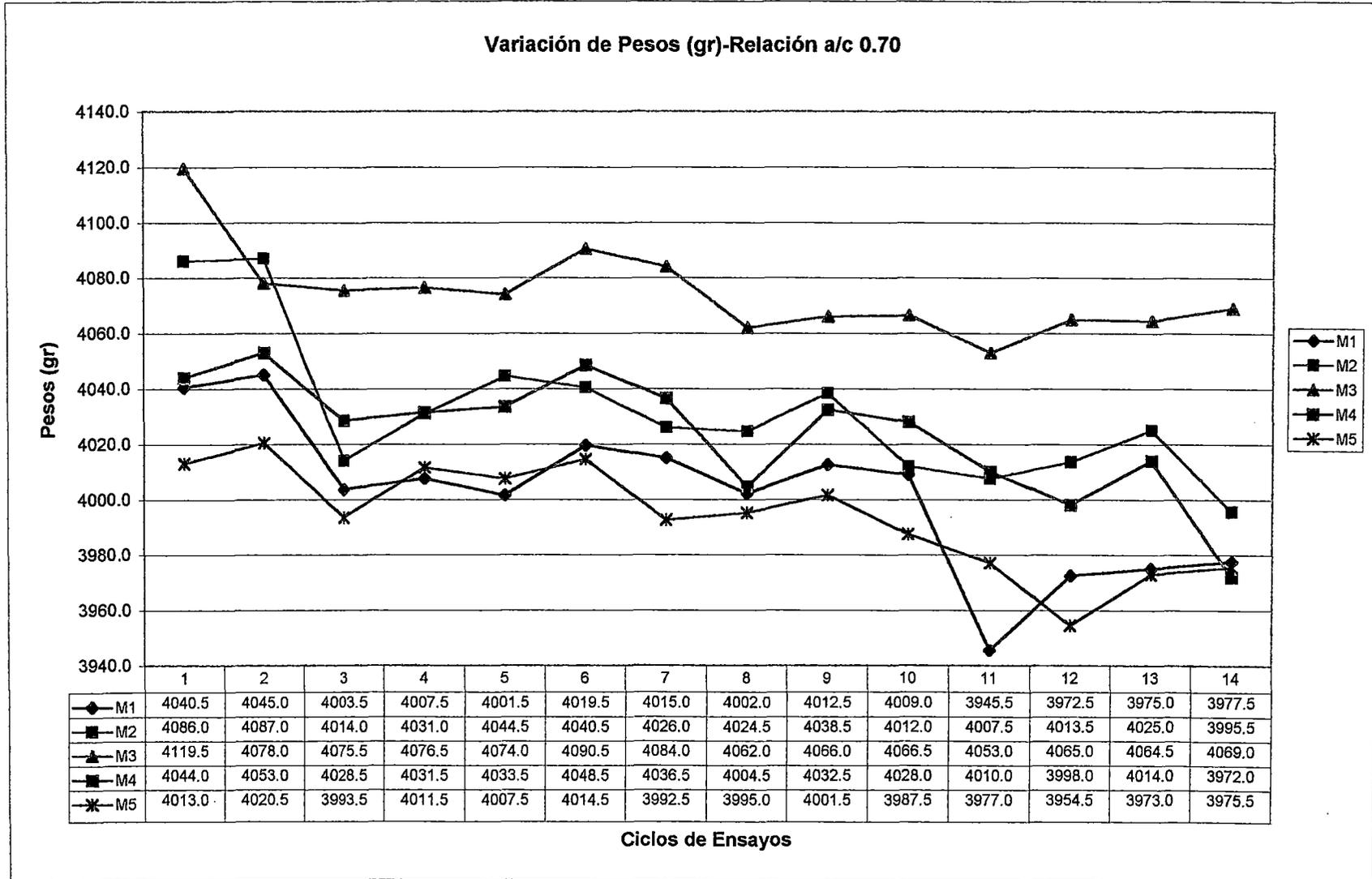
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.70

MUESTRAS: M1 AL M5

Gráfico B.7.13



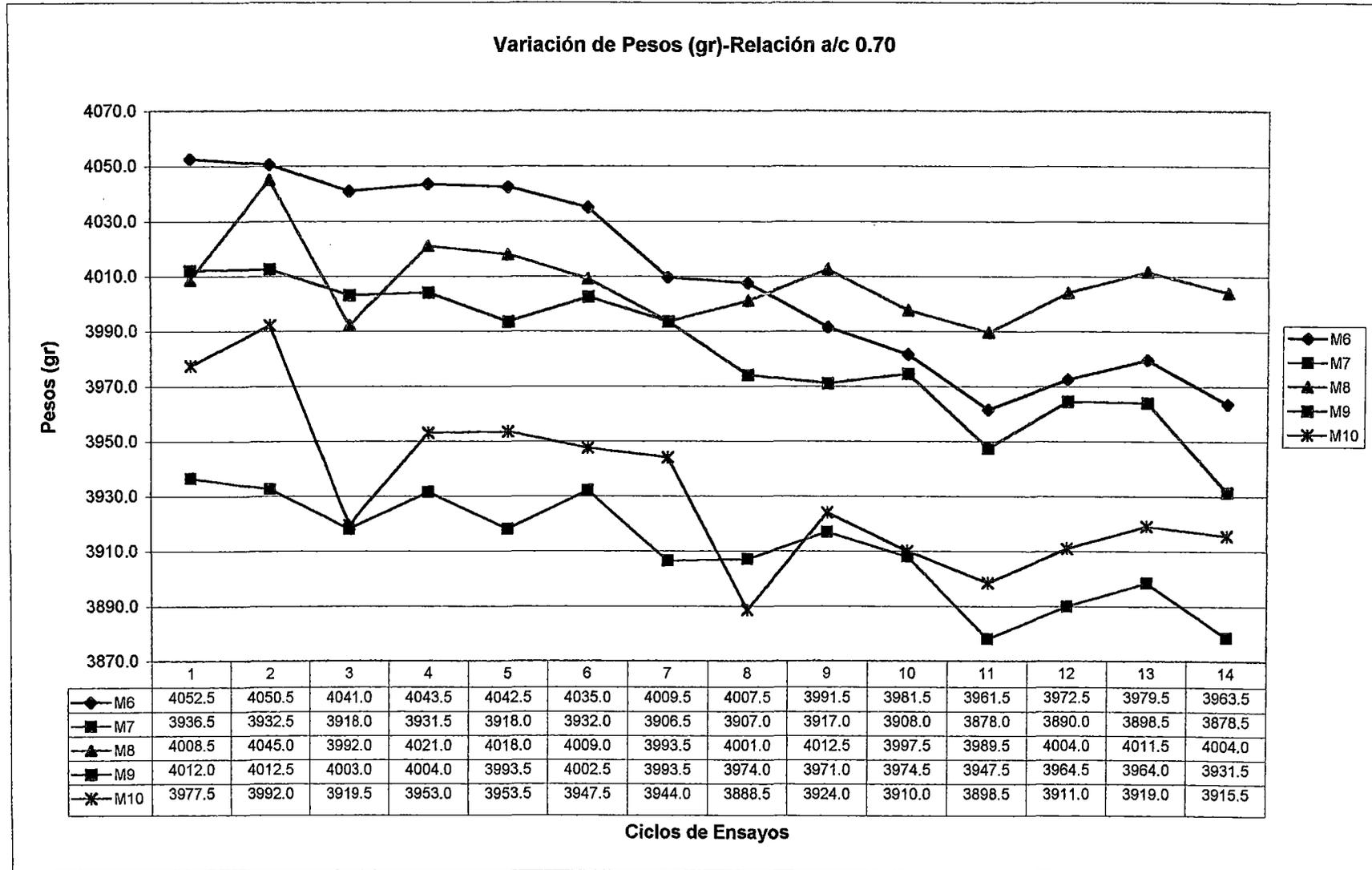
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.70

MUESTRAS: M6 AL M10

Gráfico B.7.14



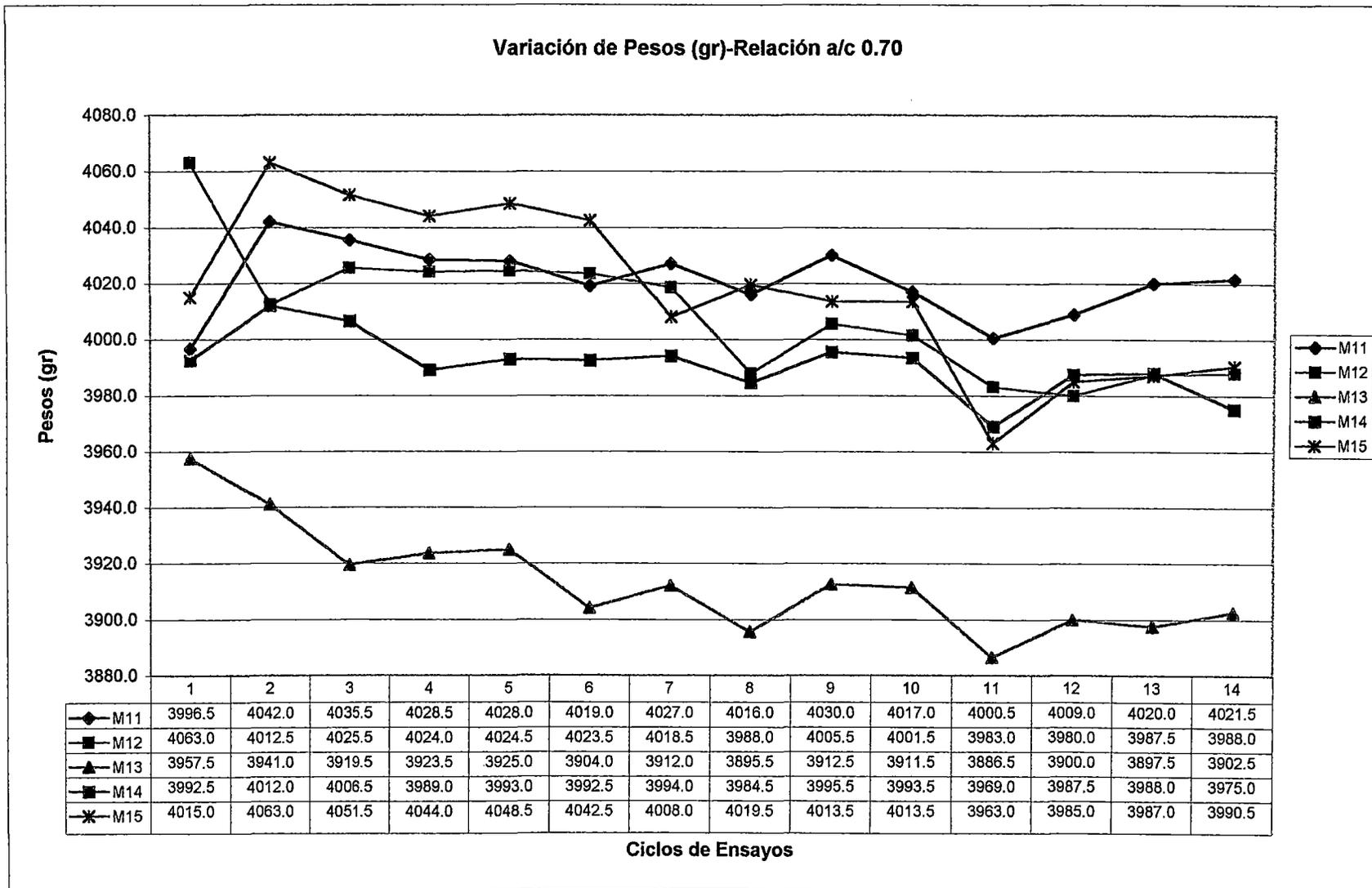
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.70

MUESTRAS: M11 AL M15

Gráfico B.7.15



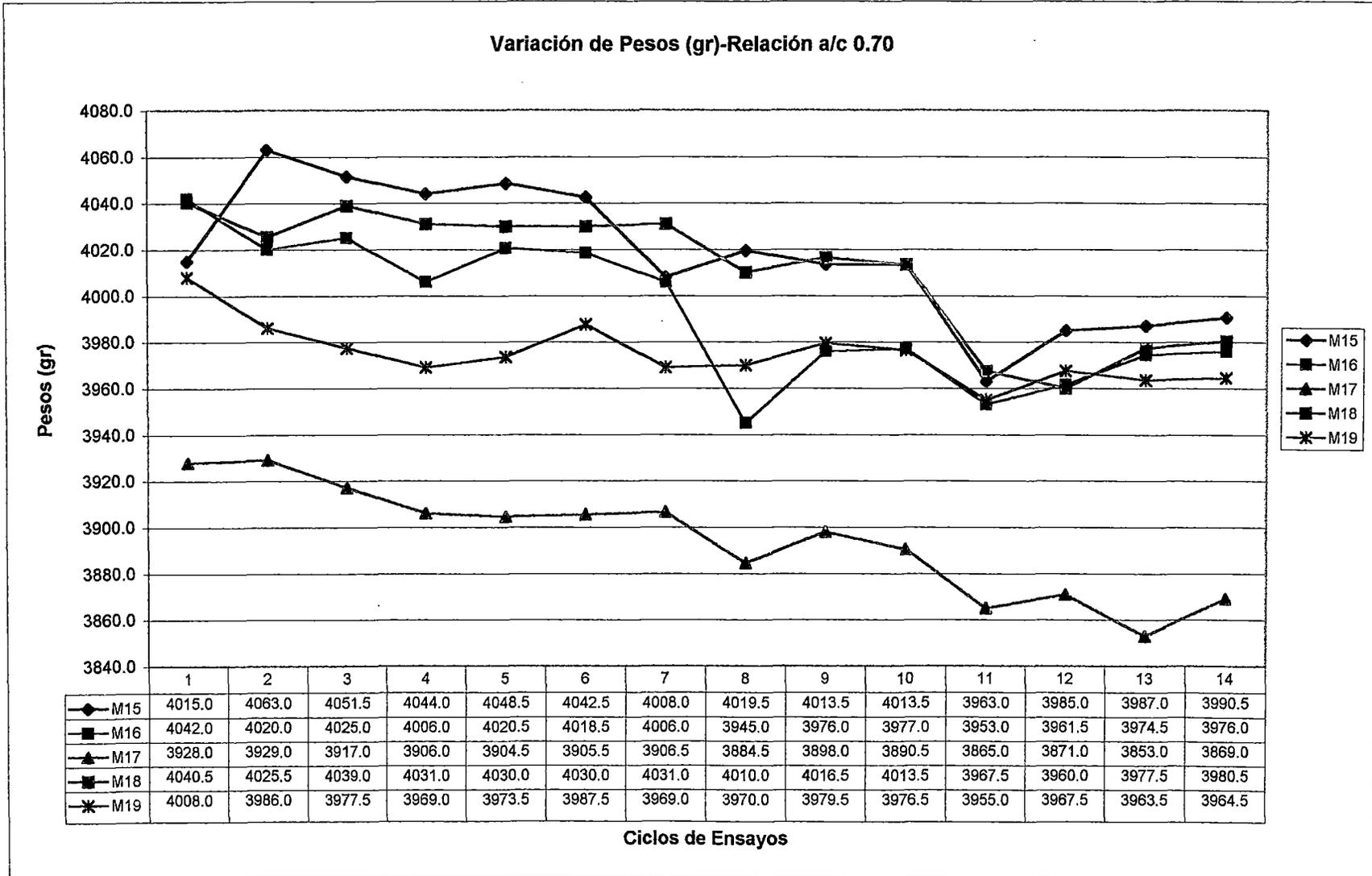
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.70

MUESTRAS: M15 AL M20

Gráfico B.7.16



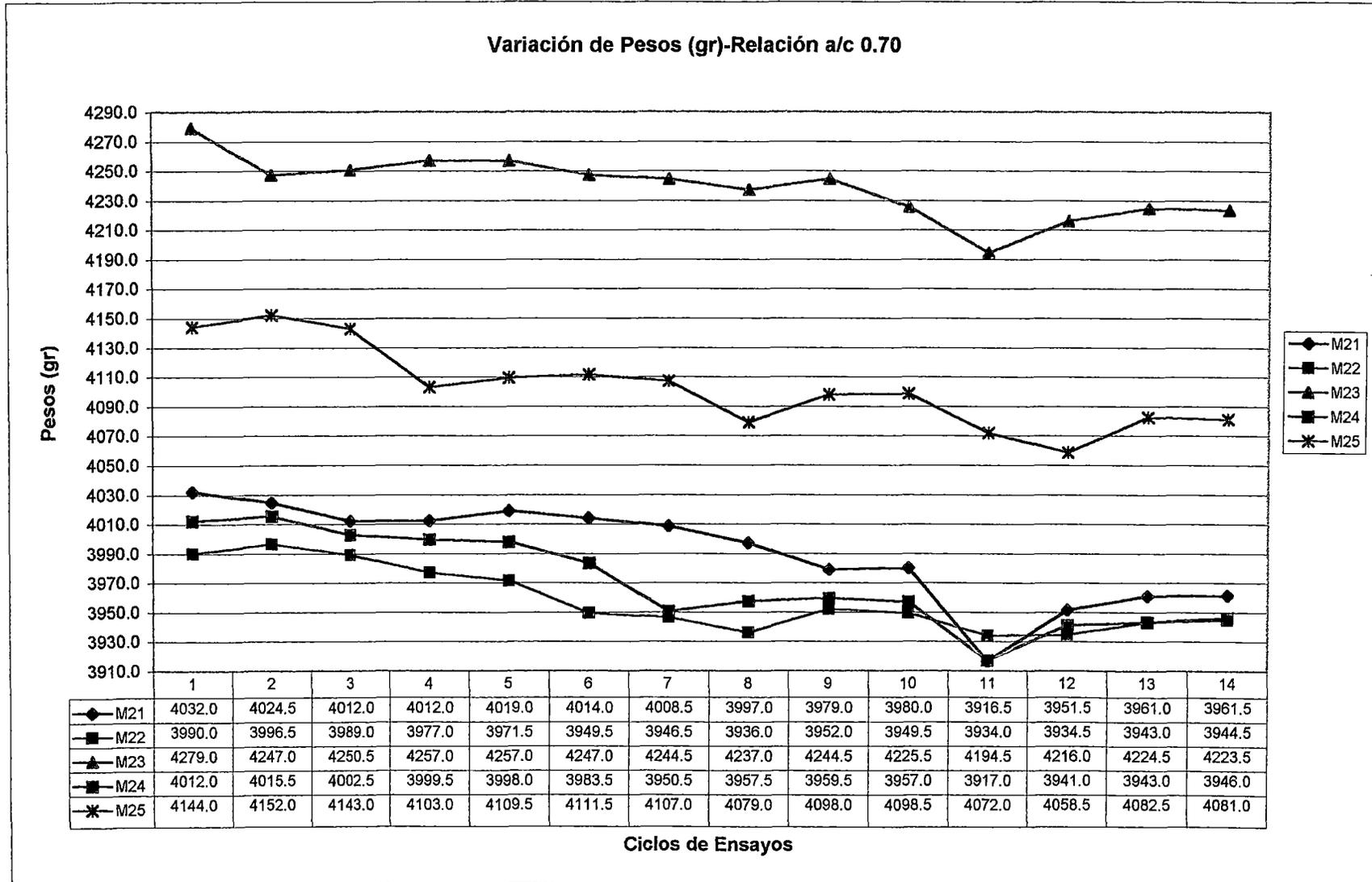
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.70

MUESTRAS: M21 AL M25

Gráfico B.7.17



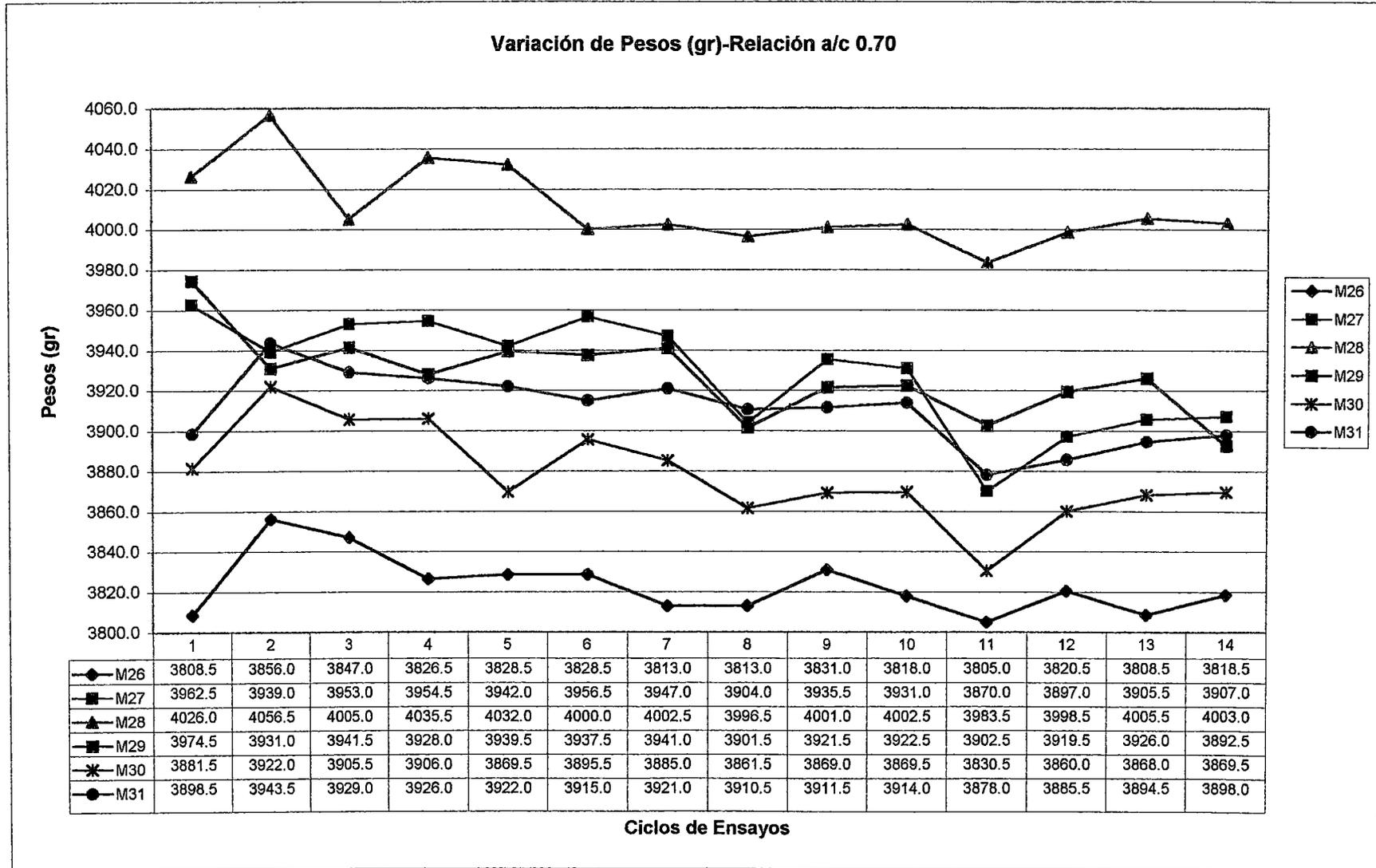
ENSAYOS DE DURABILIDAD

ENSAYO DE HUMEDECIDO Y DECADO POR PERDIDA DE PESO

RELACIÓN a/c=0.70

MUESTRAS: M26 AL M31

Gráfico B.7.18



**2. CUADROS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS 4x8”
SUMERGIDAS EN UNA SOLUCIÓN DE SULFATO DE
MAGNESIO 100 gr/lt.**

RESISTENCIA A LA COMPRESION**Relación a/c 0.60****(Probetas 4x8" Sumergidas en Sulfato de Magnesio)**

Cuadro B.7.19

Número de días de Inmersión	f (Kg)	D(cm)	Area (cm ²)	f c(Kg/cm ²)	fc final
30	24600	10.00	78.54	313.22	313.217
	22800	10.00	78.54	290.30	290.299
	24400	10.20	81.71	298.61	298.607
	25800	10.10	80.12	322.02	287.075
	23000	10.10	80.12	287.07	
	21800	10.10	80.12	272.10	297.299
60	26800	10.10	80.12	334.50	334.505
	28000	10.20	81.71	342.66	342.663
	22600	10.10	80.12	282.08	354.901
	29000	10.20	81.71	354.90	346.986
	27800	10.10	80.12	346.99	363.746
	28000	9.90	76.98	363.75	348.560
90	22000	10.10	80.12	274.59	274.593
	25400	10.20	81.71	310.84	310.845
	25800	10.10	80.12	322.02	288.036
	24000	10.30	83.32	288.04	305.950
	25000	10.20	81.71	305.95	
	22200	10.20	81.71	271.68	294.856
120	21200	10.20	81.71	259.45	259.445
	20200	10.40	84.95	237.79	237.790
	26000	10.40	84.95	306.07	266.788
	26000	10.20	81.71	318.19	256.998
	21800	10.20	81.71	266.79	
	21000	10.20	81.71	257.00	255.255

RESISTENCIA A LA COMPRESION**Relación a/c 0.65****(Probetas 4x8" Sumergidas en Sulfato de Magnesio)**

Cuadro B.7.20

Número de días de Inmersión	f (Kg)	D(cm)	Area (cm ²)	f c(Kg/cm ²)	f c final
30	20000	10.20	81.71	244.76	244.760
	19400	10.20	81.71	237.42	237.417
	23000	9.90	76.98	298.79	274.593
	18200	10.10	80.12	227.16	255.871
	22000	10.10	80.12	274.59	
	20500	10.10	80.12	255.87	253.160
60	23000	10.10	80.12	287.07	310.670
	24400	10.00	78.54	310.67	320.856
	25200	10.00	78.54	320.86	313.292
	25600	10.20	81.71	313.29	323.403
	25400	10.00	78.54	323.40	312.038
	25000	10.10	80.12	312.04	316.052
90	21600	10.10	80.12	269.60	269.601
	21600	10.00	78.54	275.02	275.020
	24400	10.20	81.71	298.61	280.113
	22000	10.00	78.54	280.11	264.340
	21600	10.20	81.71	264.34	
	19000	10.10	80.12	237.15	272.268
120	24000	10.20	81.71	293.71	239.369
	18800	10.00	78.54	239.37	217.836
	17800	10.20	81.71	217.84	262.112
	17200	10.20	81.71	210.49	252.127
	21000	10.10	80.12	262.11	
	20200	10.10	80.12	252.13	242.861

RESISTENCIA A LA COMPRESION **Relación a/c 0.70**
(Probetas 4x8" Sumergidas en Sulfato de Magnesio)

Cuadro B.7.21

Número de días de Inmersión	f (Kg)	D(cm)	Area (cm ²)	f c(Kg/cm ²)	f c final
30	15800	10.40	84.95	185.99	224.090
	17600	10.00	78.54	224.09	210.493
	17200	10.20	81.71	210.49	217.836
	20800	10.20	81.71	254.55	222.731
	17800	10.20	81.71	217.84	
	18200	10.20	81.71	222.73	218.788
60	17200	10.00	78.54	219.00	315.679
	24300	9.90	76.98	315.68	290.299
	22800	10.00	78.54	290.30	264.608
	21200	10.10	80.12	264.61	287.075
	23000	10.10	80.12	287.07	313.217
	24600	10.00	78.54	313.22	294.176
90	21000	10.20	81.71	257.00	256.998
	22800	10.20	81.71	279.03	256.832
	21400	10.30	83.32	256.83	261.893
	19600	10.30	83.32	235.23	239.645
	21400	10.20	81.71	261.89	
	19200	10.10	80.12	239.65	253.842
120	10000	10.10	80.12	124.82	193.058
	16400	10.40	84.95	193.06	237.417
	19400	10.20	81.71	237.42	244.760
	20000	10.20	81.71	244.76	217.836
	17800	10.20	81.71	217.84	249.630
	20000	10.10	80.12	249.63	228.540

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Probetas Patrón 4x8")

Relación a/c 0.60

Cuadro B.7.22

Edad	f(Kg)	D(cm)	Area (cm ²)	f _c (Kg/cm ²)	f _c final
7	15600	10.20	81.71	190.913	190.913
	16200	10.20	81.71	198.255	198.255
	14200	10.10	80.12	177.238	177.238
	13800	10.10	80.12	172.245	188.465
	14000	10.20	81.71	171.332	
	15400	10.20	81.71	188.465	188.718
14	18600	10.10	80.12	232.156	224.667
	16000	10.20	81.71	195.808	212.941
	18000	10.10	80.12	224.667	195.808
	17400	10.20	81.71	212.941	200.703
	14600	10.00	78.54	185.893	
	16400	10.20	81.71	200.703	208.530
28	19400	10.10	80.12	242.141	242.141
	19200	10.10	80.12	239.645	252.127
	18400	10.00	78.54	234.276	252.127
	20200	10.10	80.12	252.127	264.608
	20200	10.10	80.12	252.127	
	21200	10.10	80.12	264.608	252.751
35	25600	10.10	80.12	319.527	319.527
	21200	10.20	81.71	259.445	274.131
	22400	10.20	81.71	274.131	324.519
	26000	10.10	80.12	324.519	294.564
	23600	10.10	80.12	294.564	
	25800	10.00	78.54	328.496	303.185

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Probetas Patrón 4x8")

Relación a/c 0.65

Cuadro B.7.23

Edad	f(KN)	D(cm)	Area (cm ²)	f _c (Kg/cm ²)	f _c final
7	15600	10.20	81.71	190.913	190.913
	14400	10.10	80.12	179.734	179.734
	15800	10.00	78.54	201.172	195.808
	16000	10.20	81.71	195.808	177.238
	14200	10.10	80.12	177.238	
	15800	10.10	80.12	197.208	185.923
14	13800	10.05	79.33	173.963	187.223
	15000	10.10	80.12	187.223	179.734
	14400	10.10	80.12	179.734	202.685
	16400	10.15	80.91	202.685	212.631
	16700	10.00	78.54	212.631	
	13000	10.00	78.54	165.521	195.568
28	21000	10.00	78.54	267.380	222.731
	18200	10.20	81.71	222.731	235.436
	20000	10.40	84.95	235.436	249.631
	20800	10.30	83.32	249.631	254.623
	22000	10.10	80.12	274.593	
	20400	10.10	80.12	254.623	240.605
35	20600	10.20	81.71	252.102	252.102
	21400	10.10	80.12	267.104	267.104
	15800	10.20	81.71	193.360	268.397
	22800	10.40	84.95	268.397	237.149
	19000	10.10	80.12	237.149	
	23200	10.20	81.71	283.921	256.188

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Probetas Patrón 4x8")

Relación a/c 0.70

Cuadro B.7.24

Edad	f(KN)	D(cm)	Area (cm ²)	f c(Kg/cm ²)	f c final
7	12200	10.20	81.71	149.303	149.303
	12400	10.10	80.12	154.771	154.771
	11600	10.20	81.71	141.961	154.486
	14600	10.10	80.12	182.230	164.756
	12500	10.15	80.91	154.486	
	13200	10.10	80.12	164.756	155.829
14	14200	10.00	78.54	180.800	157.267
	12600	10.10	80.12	157.267	166.437
	13600	10.20	81.71	166.437	159.094
	13000	10.20	81.71	159.094	165.521
	13000	10.00	78.54	165.521	
	11000	10.20	81.71	134.618	162.080
28	18000	10.20	81.71	220.284	220.284
	16800	10.40	84.95	197.766	217.836
	19400	10.10	80.12	242.141	221.310
	17800	10.20	81.71	217.836	217.779
	18800	10.40	84.95	221.310	
	18500	10.40	84.95	217.779	219.302
35	20800	10.20	81.71	254.550	254.550
	19600	10.40	84.95	230.728	230.728
	21600	10.10	80.12	269.601	247.207
	20200	10.20	81.71	247.207	252.102
	18600	10.40	84.95	218.956	
	20600	10.20	81.71	252.102	246.147

ANEXO C: MANIFESTACIONES FÍSICAS PRESENTADOS EN EL CONCRETO.

- **Relación agua-cemento 0.60.**
- **Relación agua-cemento 0.65.**
- **Relación agua-cemento 0.70.**

**MANIFESTACIONES FISICAS QUE PRESENTAN LAS PROBETAS DE
CONCRETO SOBRE SU SUPERFICIE DURANTE EL PROCESO DEL ENSAYO
DE HUMEDECIDO, SECADO Y PEDIDA DE PESO**

Relación a/c 0.60:

Desde el Ciclo 01 al 05:

- a. Poca presencia de manchas blancas, las cuales aparecen tenuemente en la parte inferior de la probeta.
- b. Estas manchas aparecen como consecuencia del ensayo de humedecido y secado, el cual ha dado como resultado la realización de un proceso químico. Esta mancha blanca es llamada caliche y es de color blanco oscuro y lisa al tacto.

Ciclo 6:

- a. La mancha blanca oscura incrementa su superficie, en algunas probetas presenta una superficie de mayor espesor, esta característica es más notoria en algunas probetas que en otras.
- b. Los vértices de las caras inferior y superior de las probetas se comienzan a saturar de sales.

Ciclo 7:

- a. Gran parte de la superficie de las probetas están cubiertas de "mancha blanca" o caliche, además de la presencia de puntos blancos de sal.
- b. Los vértices de las caras superior e inferior de las probetas se empiezan a degradar y hay pequeños desprendimientos de material.
- c. Se limpia las probetas de la presencia de las manchas blancas de espesor 2 mm. (pelusa), se observa la presencia de una superficie áspera con puntos blancos y manchas blancas de menos espesor.

Ciclo 8:

- a. Poca variación con respecto al ciclo anterior.

Ciclo 9 al 10:

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- a. En algunos sectores aparece la piel de cocodrilo; la característica que presenta la piel de cocodrilo es la degradación de la superficie de la probeta, y las líneas que la conforman presenta en toda su longitud pelusa (sal).
- b. Se acentúa la superficie áspera debido a la degradación de la superficie de la probeta..

Ciclo 11 al 14:

- a. Se inicia la fisuración de las probetas, estas son muy difícil de notarse a simple vista.
- b. Se acentúa la presencia de la piel de cocodrilo.
- c. La superficie de la probeta es bastante áspera, esta superficie es muy similar a la que presenta una pared tarrajada sin pulir.
- d. Se acentúa la presencia de los puntos blancos de sal los cuales son duros y compactos.
- e. La presencia de sal a manera de pelusa disminuye.

Ciclo 15 al 17:

- a. Aumento del número de fisuras en la mayoría de las probetas, entre visibles y no visibles de 1 cm de longitud.
- b. Inicio de agrietamiento.

Relación a/c 0.65:

Desde el Ciclo 01 al 03:

- a. En algunas partes de la superficie lateral de la probeta de concreto, especialmente en los bordes se nota la presencia de caliche o “mancha blanca”.
- b. Esto debido a un proceso de humedecido y secado para lo cual se ha utilizado un horno para secar la probeta y permitir que la sal con ayuda del calor se adhiera a la superficie de la probeta.

Ciclo 4:

- a. Se incrementa la superficie del caliche, además de los puntos blancos de sal que al tocarlas presenta una superficie dura y áspera.
- b. Se observa la formación de sal en forma de pelusa que no es muy notoria a simple vista.

Ciclo 5:

- a. Aparece la piel de cocodrilo, en pequeñas proporciones.
- b. En algunas probetas se acentúa la formación de los puntos blancos de sal.
- c. La formación de pelusas también se incrementa notándose también que cuando se realizó una limpieza, la superficie lateral de la probeta queda lisa pero no en las partes donde aparece la piel de cocodrilo.

Ciclo 6:

- a. No hay variaciones resaltantes.

Ciclo 7 al 13.

- a. Se acentúa la presencia de la piel de cocodrilo, con la formación de fisuras no visibles de pequeña longitud.
- b. La superficie de la probeta es rugosa producto de la degradación debido a la acción del sulfato, la superficie está totalmente cubierta de las manchas blancas.
- c. Las formaciones de pelusa disminuyen, aun en la gran mayoría de las probetas las fisuras no se manifiestan de manera concreta.

Ciclo 14 al 15:

- a. incremento del número de fisuras tanto visibles como no visibles, además también en un mayor número de probetas ya es notoria la presencia de fisuras pequeñas de 1 cm de longitud.
- b. Inicio del agrietamiento.

Relación a/c 0.70:

Desde el Ciclo 01 al 02:

- a. En diversas partes de la superficie lateral de la probeta de concreto, presentan caliche producto del ensayo de humedecido y secado, el cual ha dado como resultado la realización de un proceso químico, en el cual la sal sale hacia la superficie lateral de la probeta y esta con ayuda del calor del horno (otorgado por el horno) se seca y adhiere a la superficie de la probeta de concreto.
- b. En los vértices se nota ya la presencia de los sulfatos.

Ciclo 03 al 04:

- a. Se incrementa la superficie del caliche, además de los puntos blancos de sal que al tocarlas presenta una superficie dura y áspera.
- b. Se observa la formación de sal en forma de pelusa que no es muy notoria a simple vista.
- c. Aparece la piel de cocodrilo, en pequeñas proporciones.

Ciclo 05:

- a. Permanece la sal en forma de pelusa.
- b. La superficie de la probeta es rugosa .
- c. Al realizar la limpieza de las probetas estas no presentan mucha "resistencia", son fáciles de limpiar, a pesar que su superficie asemeja a una pared tarrajada sin pulir, las manchas blancas son lisas.
- d. La superficie de caliche cubre totalmente la superficie lateral de la probeta de concreto.

Ciclo 06 a 12.

- a. Se presentan formaciones de fisuras no visibles a simple vista.
- b. Se acentúa la formación de piel de cocodrilo, líneas de color rubio cubiertas de pelusa.
- c. Se acentúa la aparición de puntos blancos y disminuyen las pelusas.

Ciclo 12 al 14.

- a. Se incrementa la presencia de las fisuras tanto visibles como no visibles a simple vista, en gran parte del total de probetas. Fisuras de 1 cm de longitud.
- b. Inicio del agrietamiento.

ANEXO D: PANEL DE FOTOS.

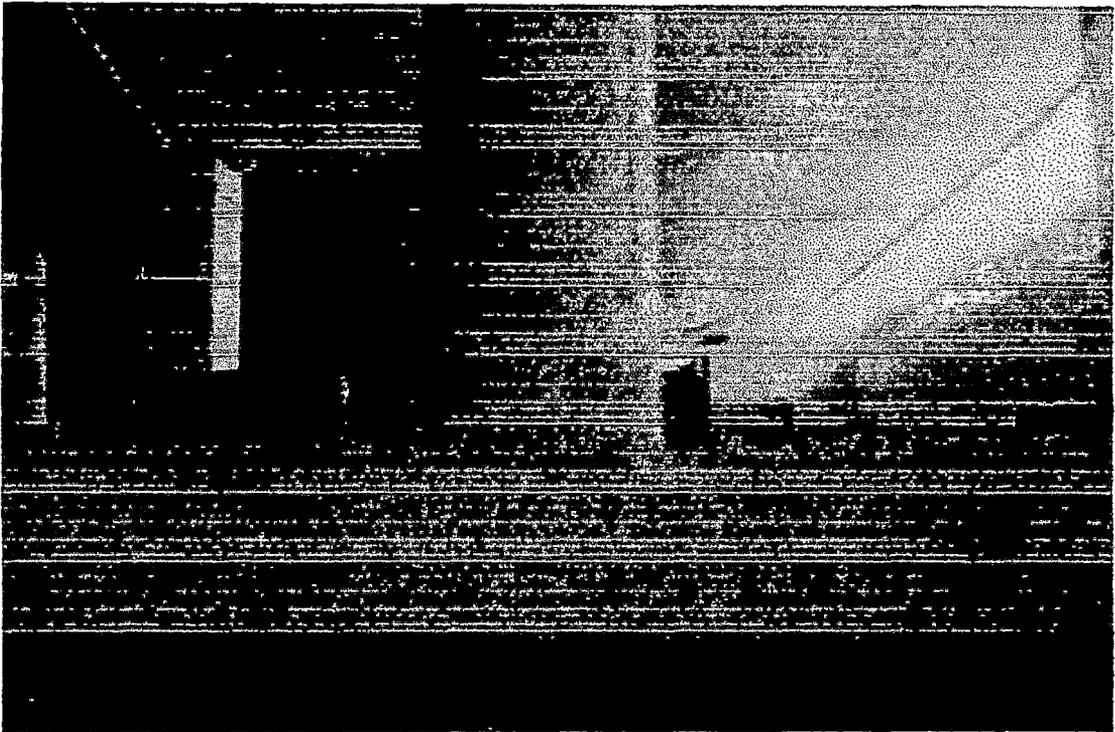


FOTO N° 01: Se inicia el proceso de corrosión, aparecen las primeras manchas blancas.

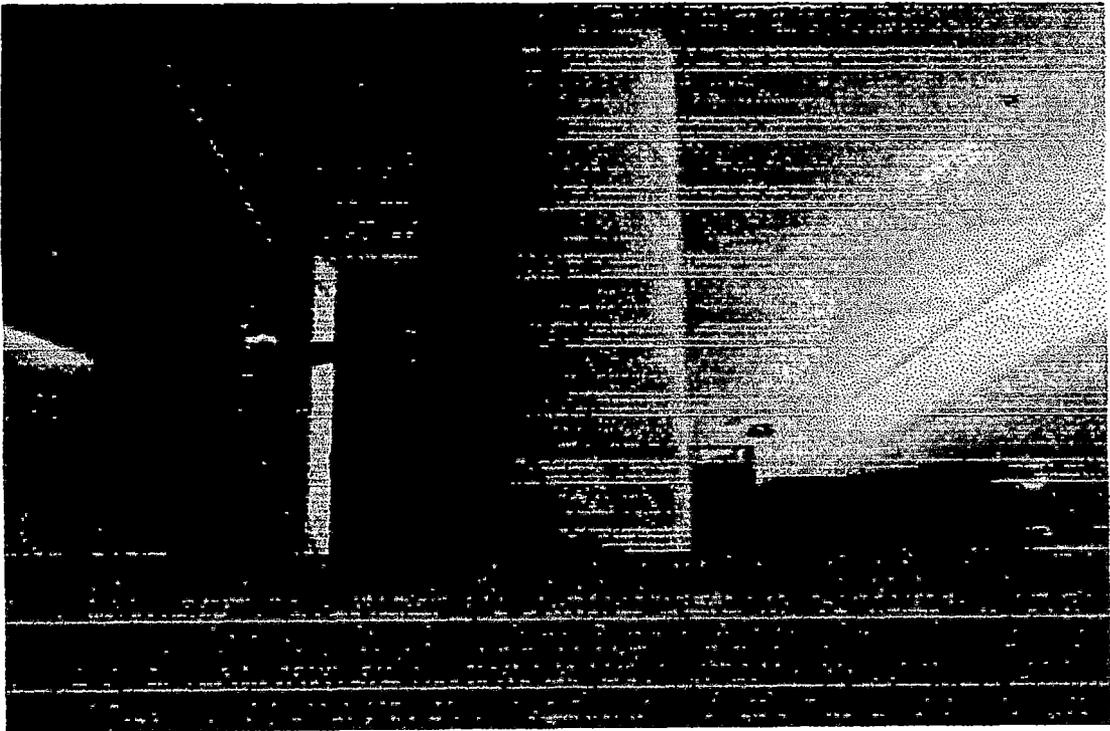


FOTO N° 02: En la parte inferior es muy notorio la reacción sulfato-concreto

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

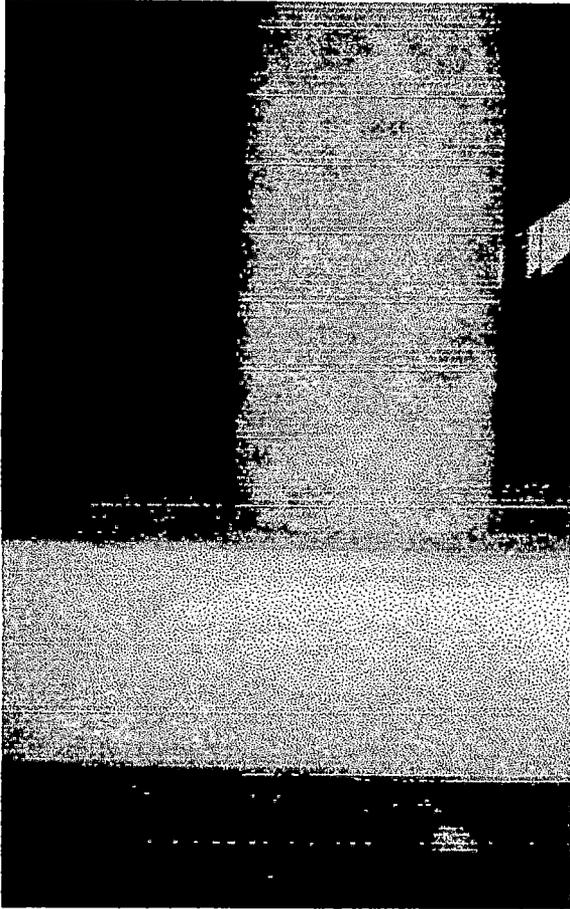


FOTO N° 03: Se aprecia un incremento de la superficie de la mancha blanquecina, producto de la corrosión.

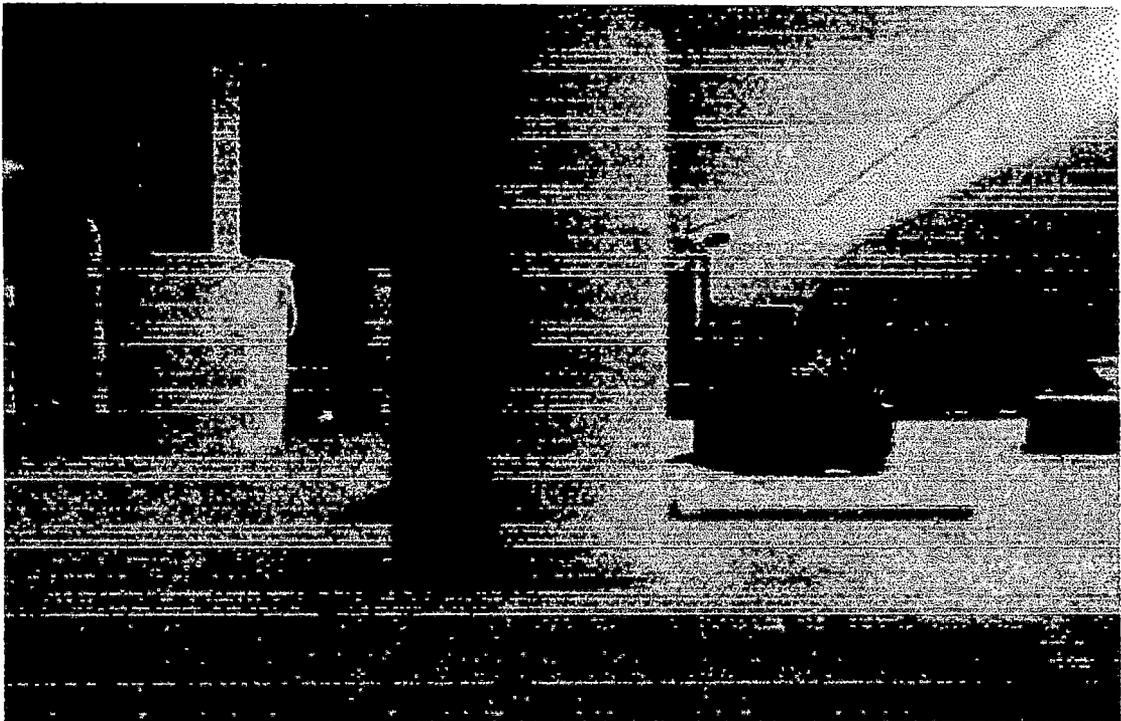


FOTO N° 04: Se produce un incremento en la mancha blanca, superficie de concreto deteriorado.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

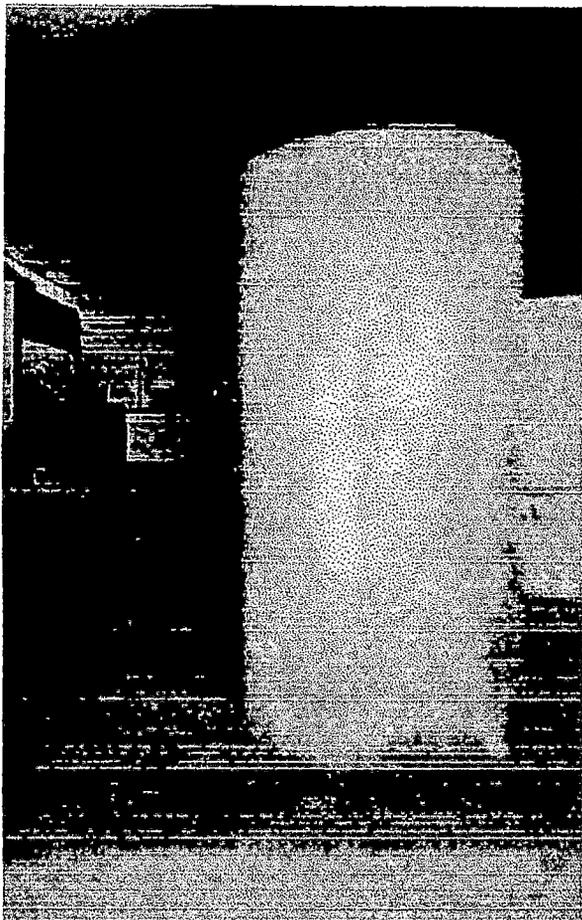


FOTO N° 05: Se aprecia que la mancha blanquecina está cubriendo gran parte de la probeta.



FOTO N° 06: El proceso de corrosión es notorio, se aprecia los vértices de la probeta destruidos.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

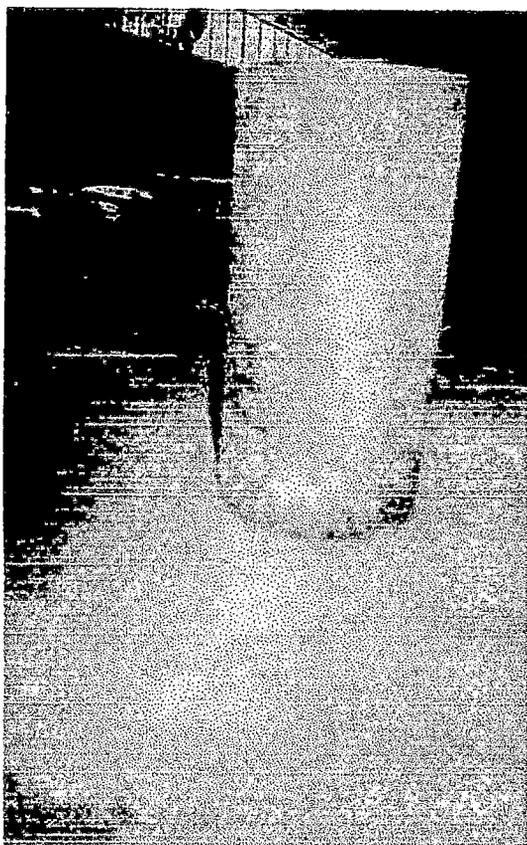


FOTO N° 07: Se observa una gran cantidad de manchas blancas y algodonosas.

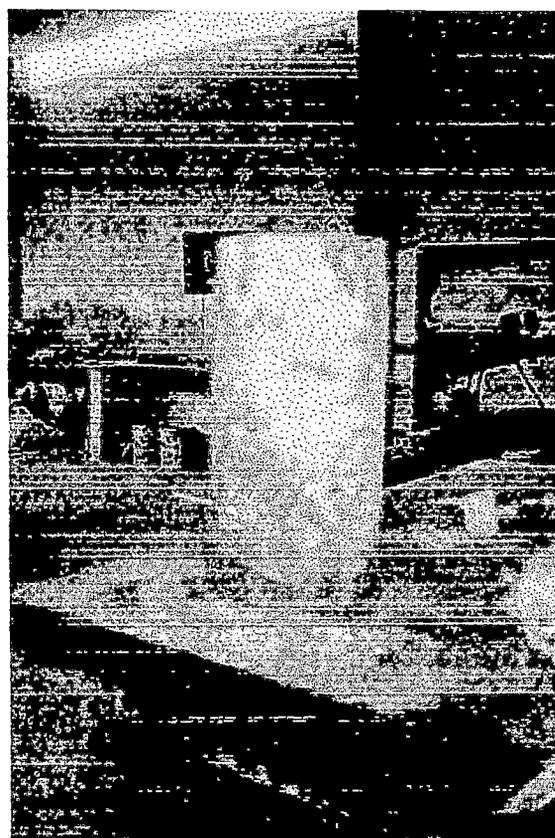


FOTO N° 08: En esta foto se observa un aumento en el avance de la corrosión, donde la mancha blanca cubre gran parte de la probeta.

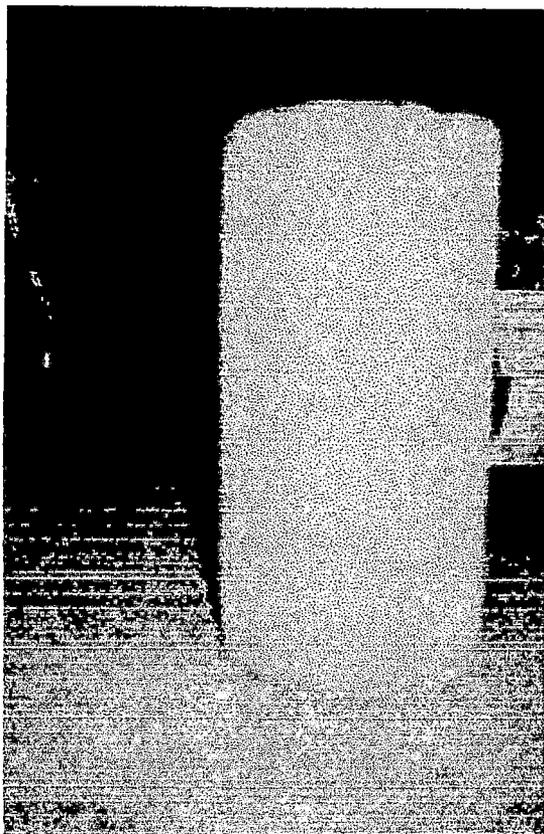


FOTO N° 09: Se observa que la superficie de la probeta se va desintegrando pero aun no hay fisuras.

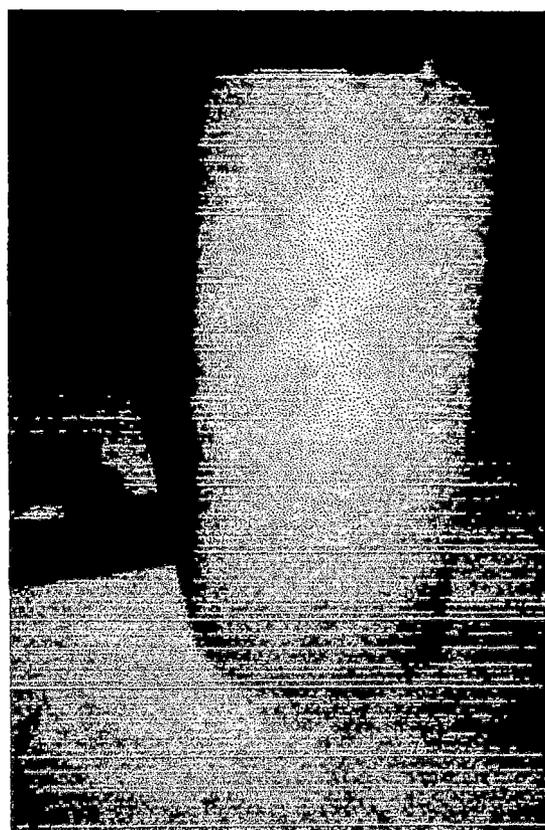


FOTO N° 10: Esta probeta está cubierto totalmente por sulfatos, aun no se presentan fisuras.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"



FOTO N° 11: Se observa la piel de cocodrilo, la superficie de la probeta muy degradada, fisuras microscópicas.

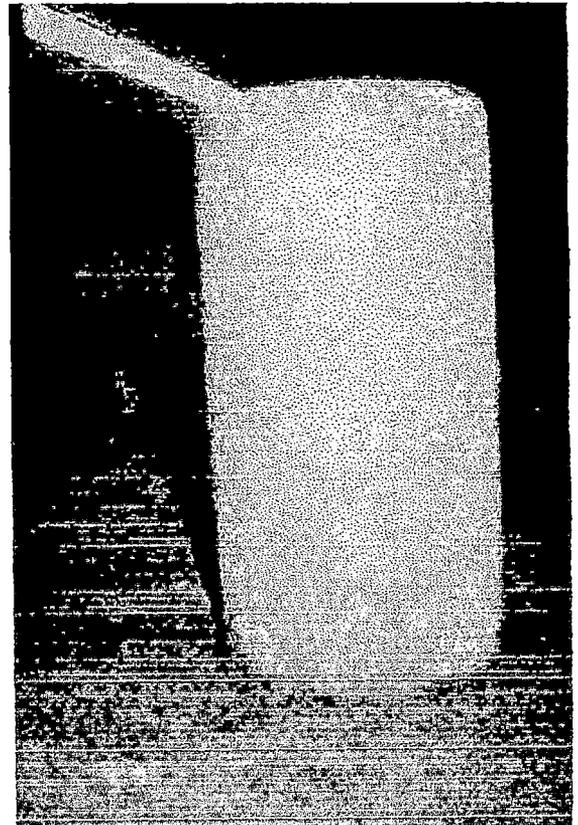


FOTO N° 12: En esta probeta se observa una gran degradación, la superficie de la misma dañada y los vértices destruidos.

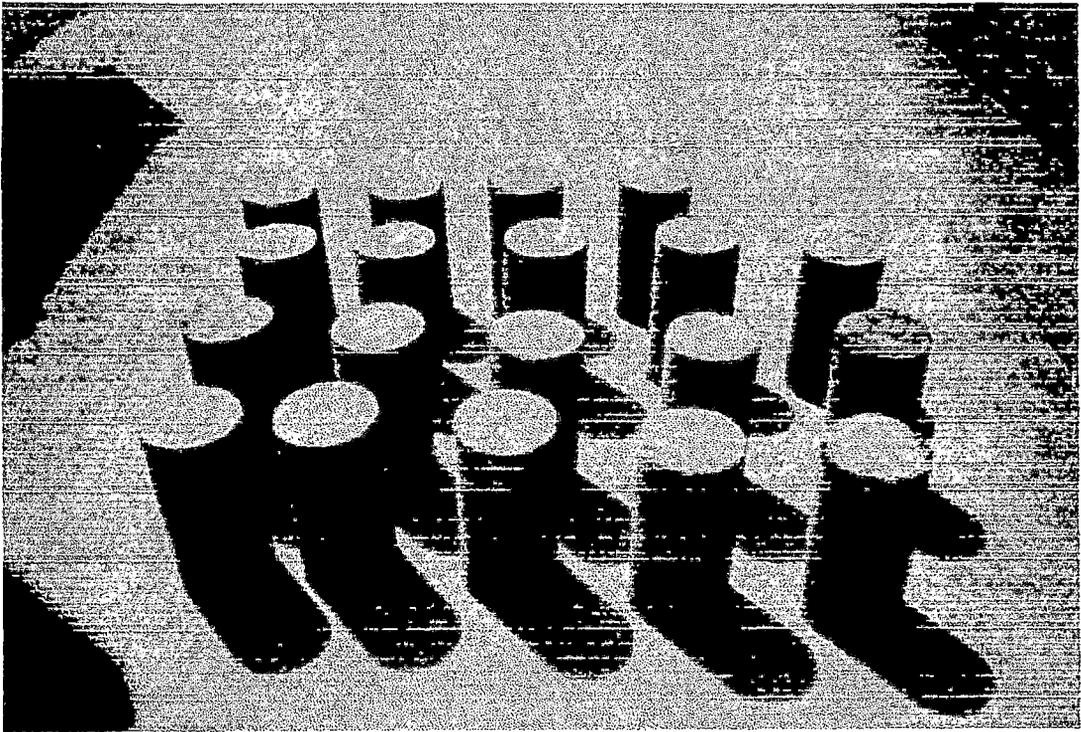


FOTO N° 13: Se aprecian ya fisuras pequeñas , la superficie y vértices muy dañados.

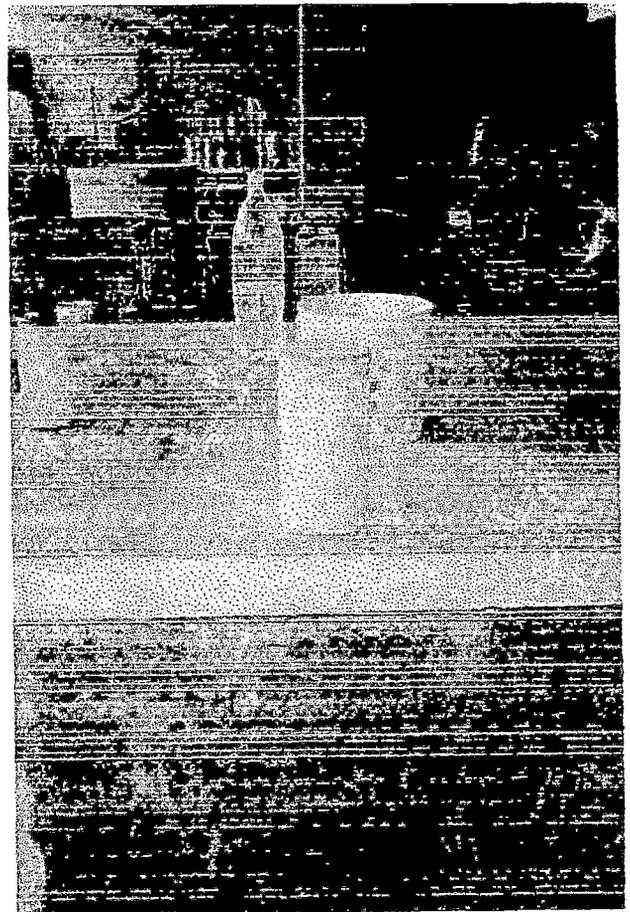


FOTO N° 14: En la probeta se presentan fisuras ya se ha alcanzado el final de ensayo de humedecido y secado.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

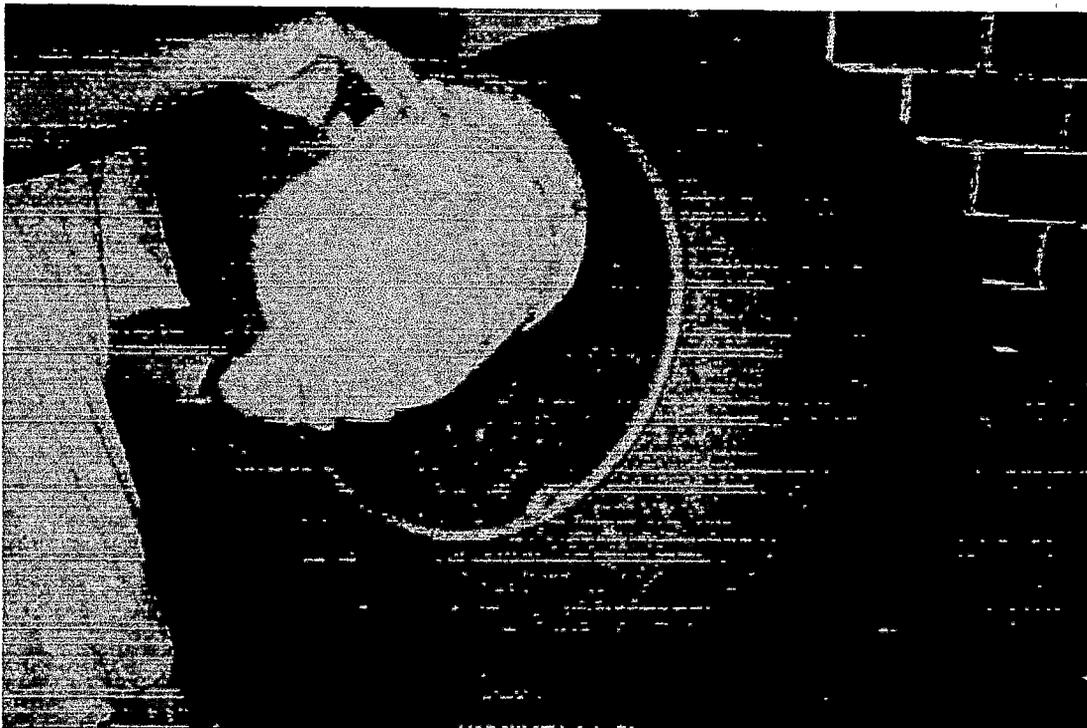


FOTO N° 15: Proceso de mezclado.

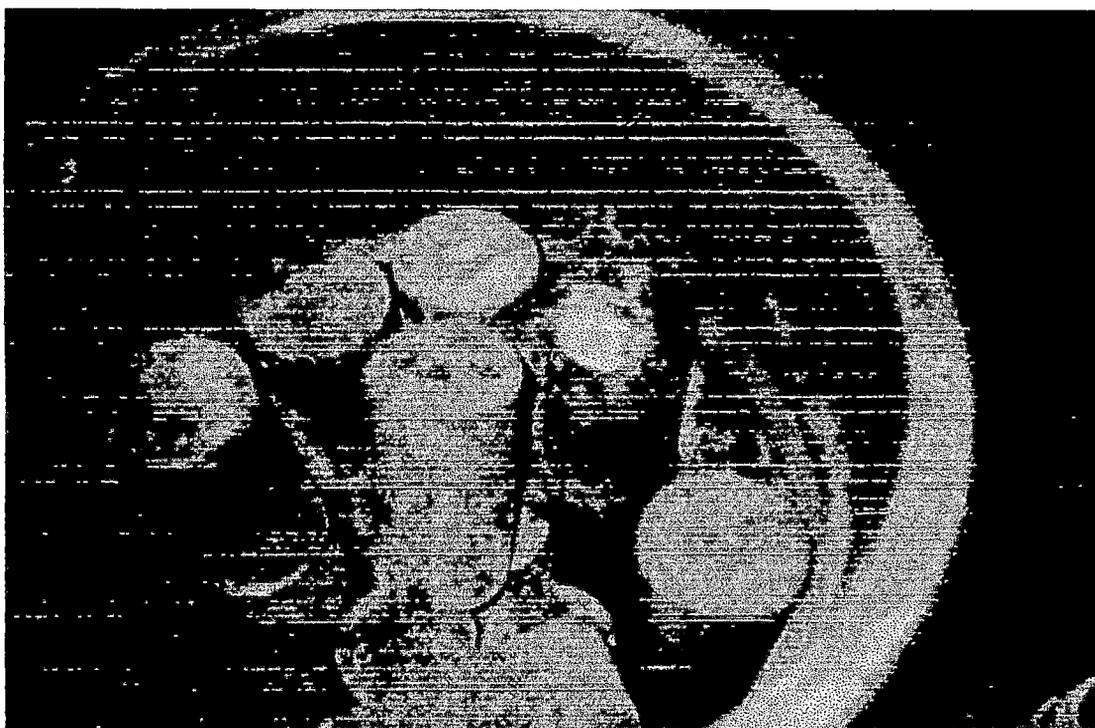


FOTO N° 16: En estos cilindros se almacenan las probetas que están sumergidas en una solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt.

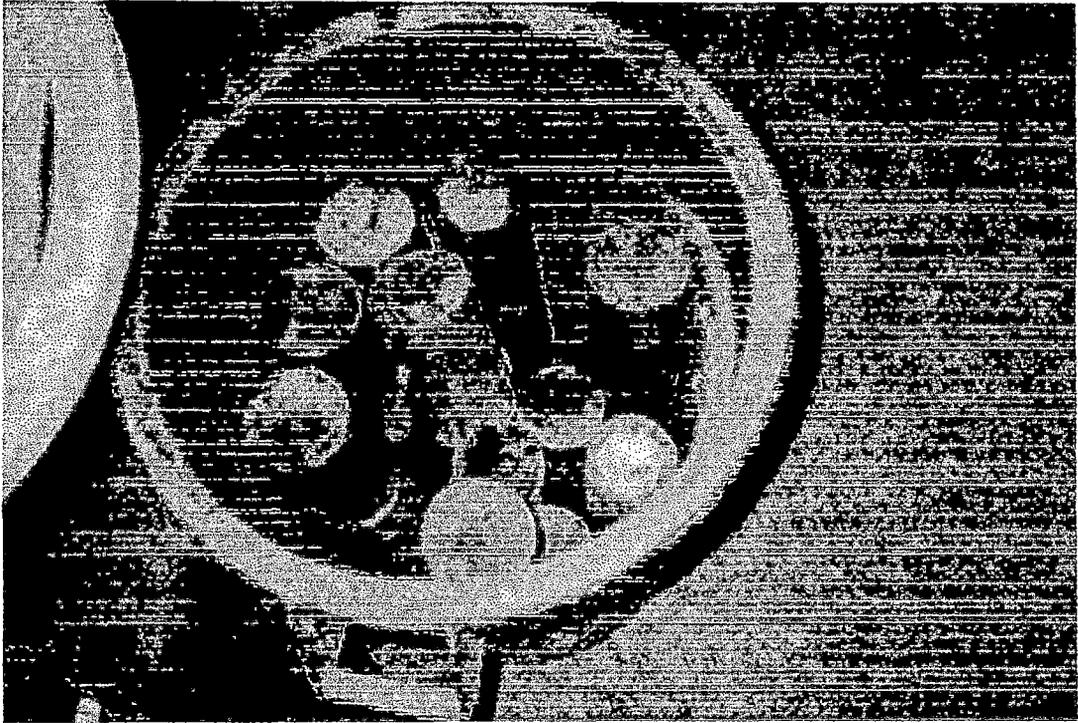


FOTO N° 17: Las probetas almacenadas en cilindros plásticos ya muestran efectos de los sulfatos.

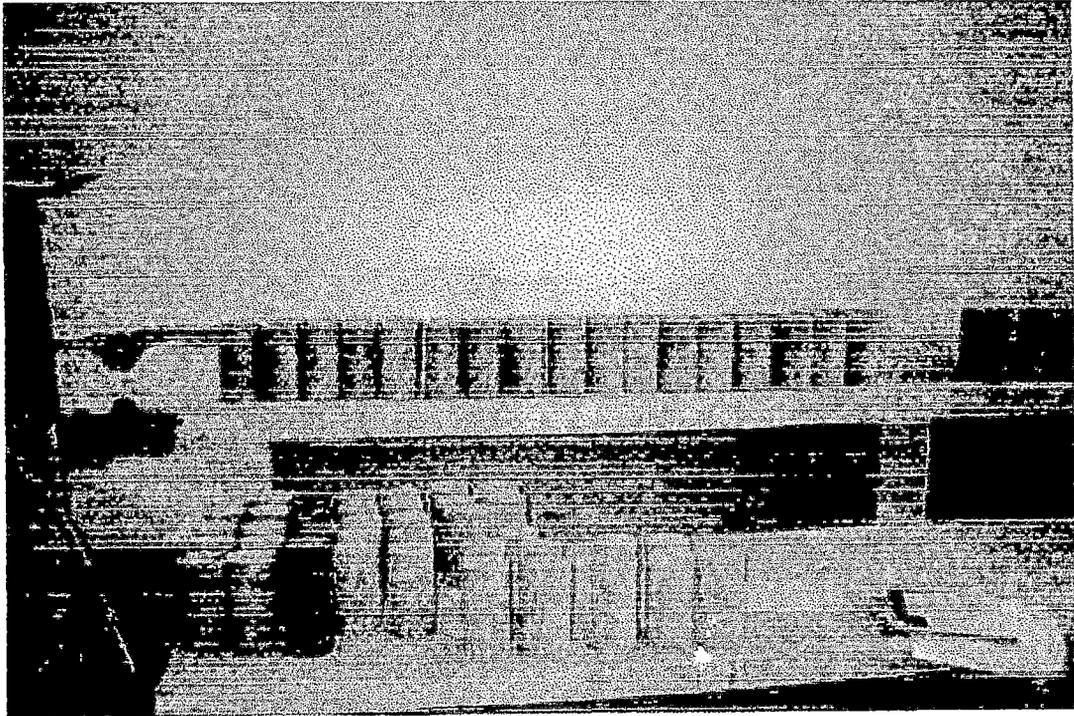


FOTO N° 18: Se observa parte de la producción de probetas que son empleados en los ensayos de durabilidad.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

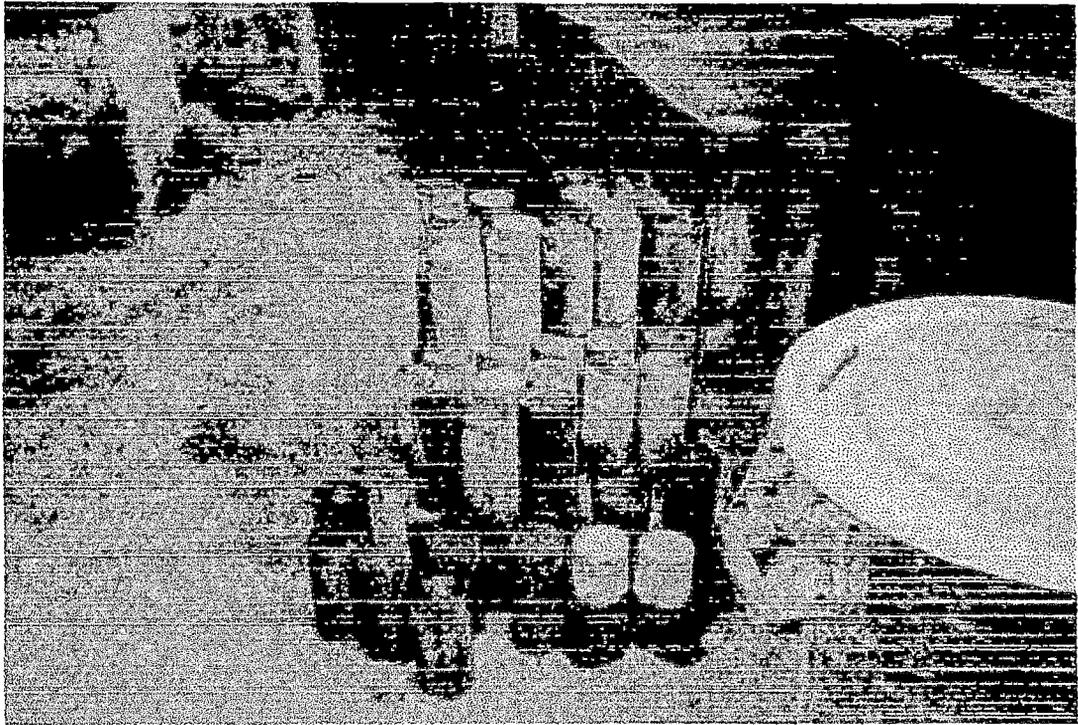


FOTO N° 19: Probetas recién sacadas del agua sulfatadas listas para ir al horno.



FOTO N° 20: Se observa el cilindro que ha servido de horno en el cual en su parte inferior hay un primus a kerosene.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

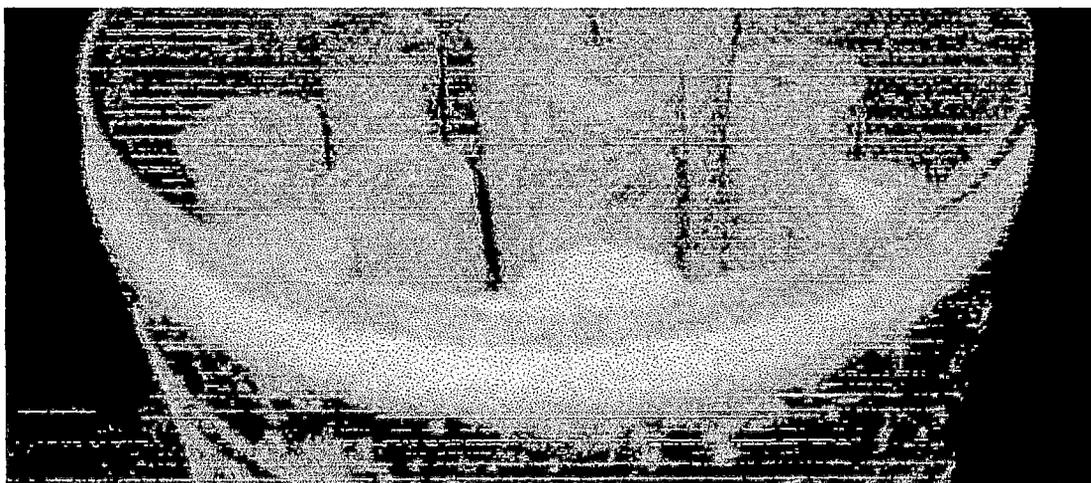


FOTO N° 21: Conjunto de probetas listas a ser secadas en el horno para el ensayo de humedecido y secado.

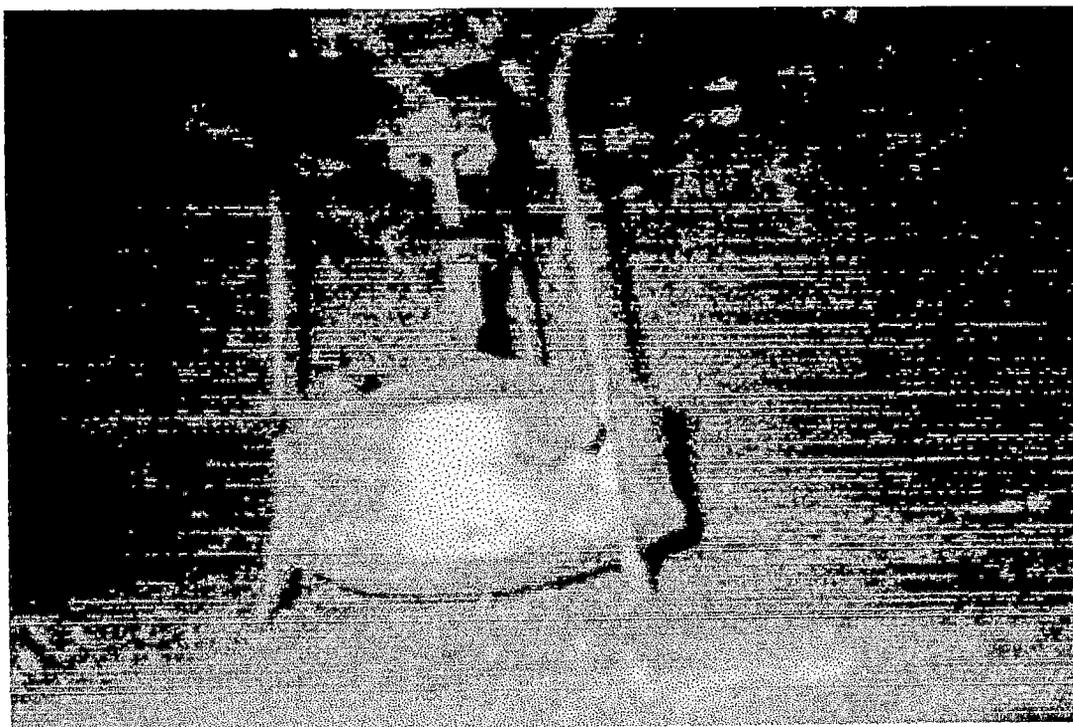


FOTO N° 22: Primus que sirvió de fuente de energía para el horno rústico.

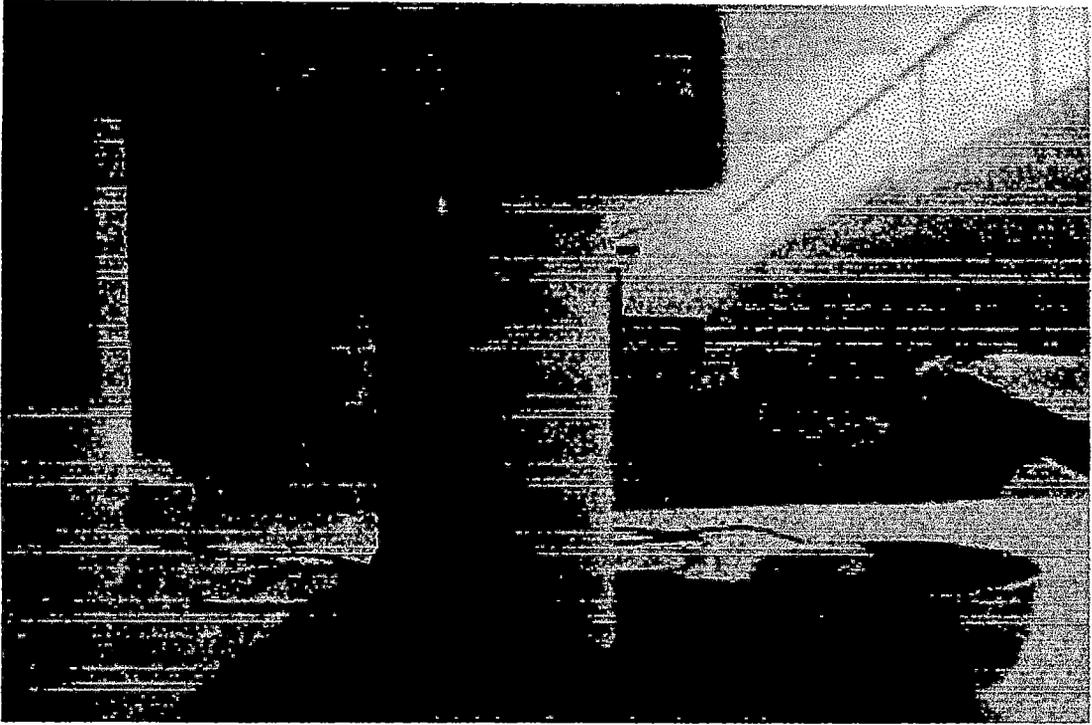


FOTO N° 23: Pesado de la probeta para realizar el ensayo de humedecido y secado.

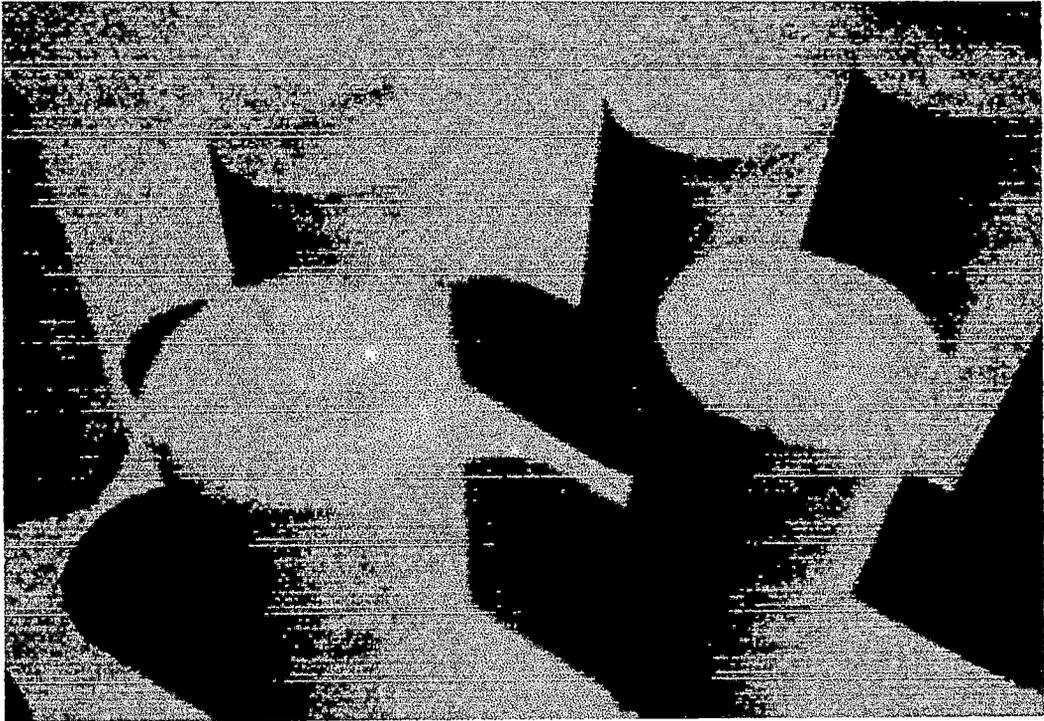


FOTO N° 24: Se muestra un grupo de probetas a ser ensayadas a compresión luego de estar inmerso 120 días en sulfatos.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

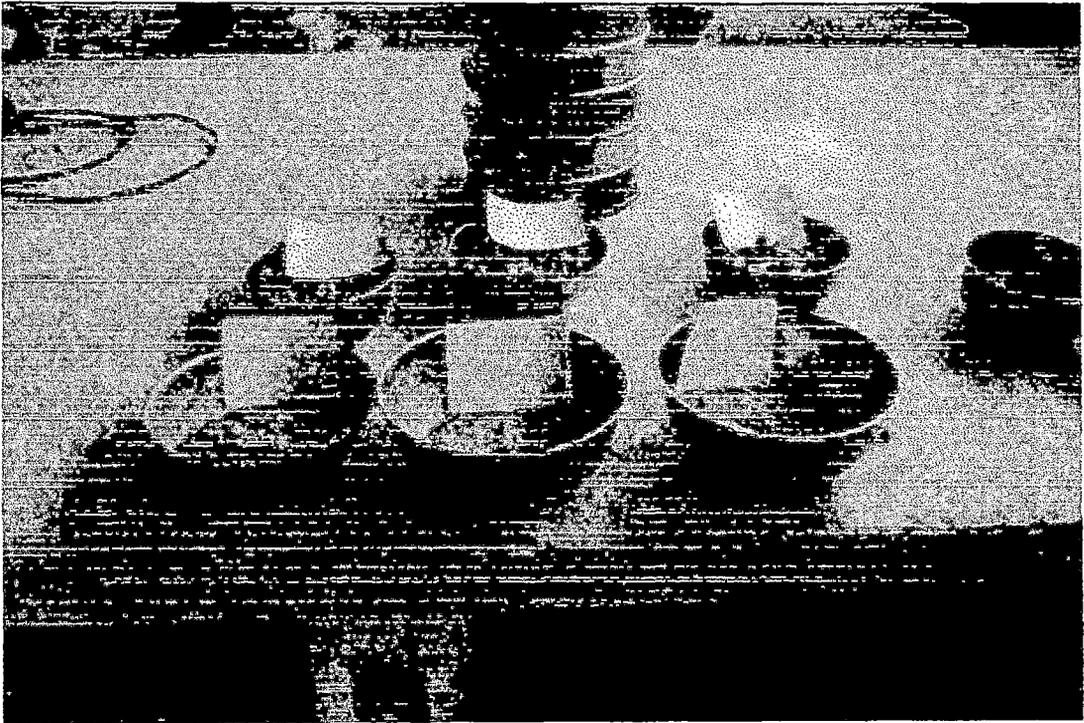


FOTO N° 25: Ensayo de las propiedades físicas de los agregados.

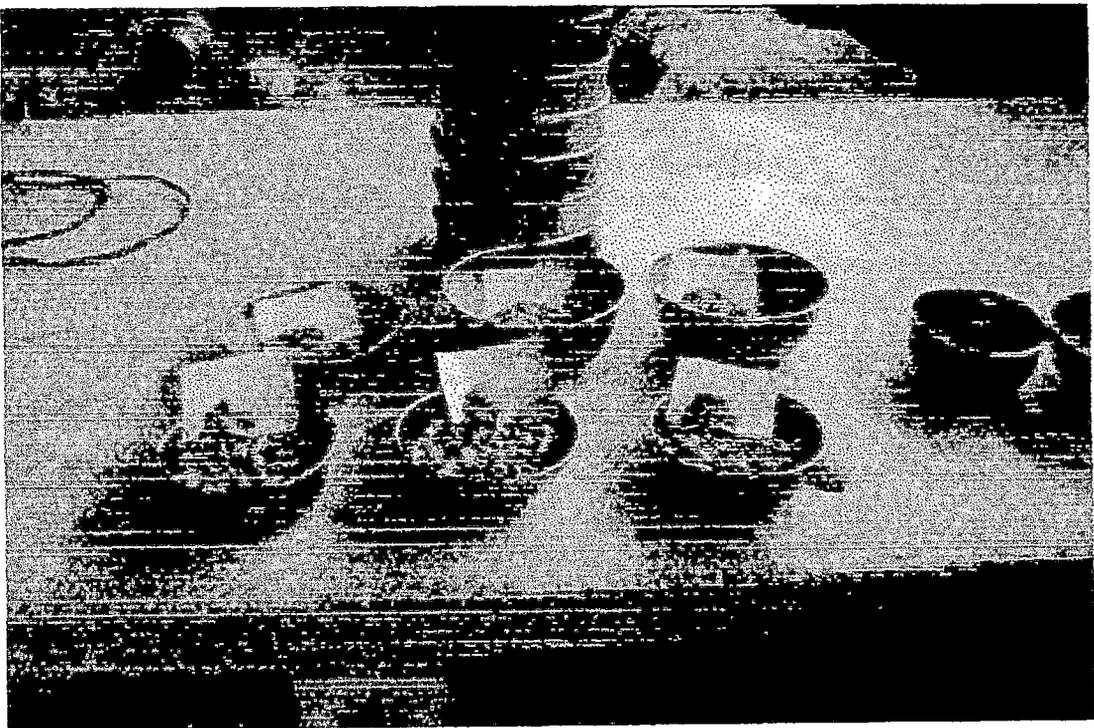


FOTO N° 26: Ensayo de granulometría de los agregados grueso y finos.

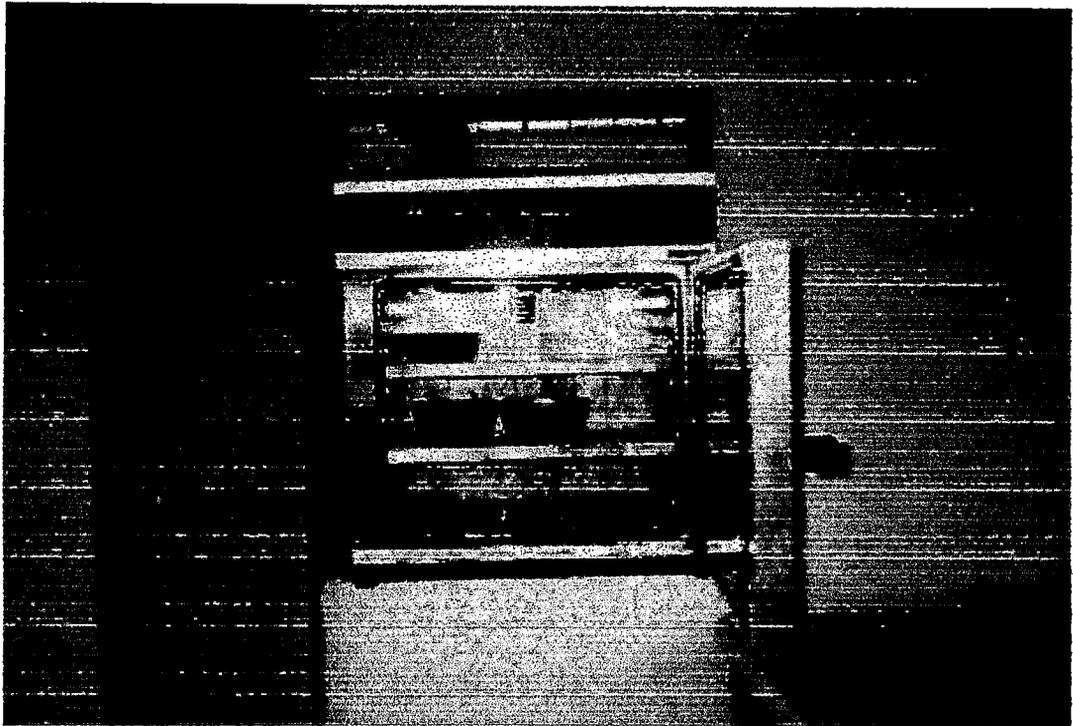


FOTO N° 27: Horno eléctrico donde se realizan los ensayos de las propiedades físicas de los agregados.

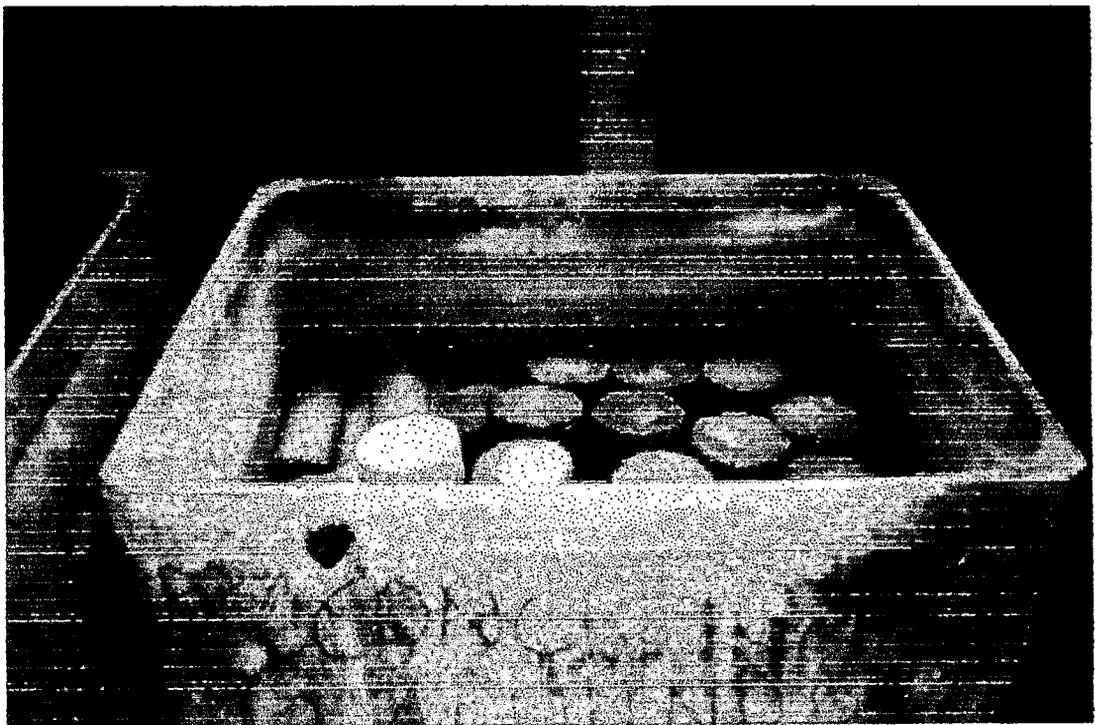


FOTO N° 28: Poza en el cual se curan las probetas 6x12" y 4x8" para los ensayos respectivos.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"



FOTO N° 29: Capeado de las probetas, listas para ser ensayadas.

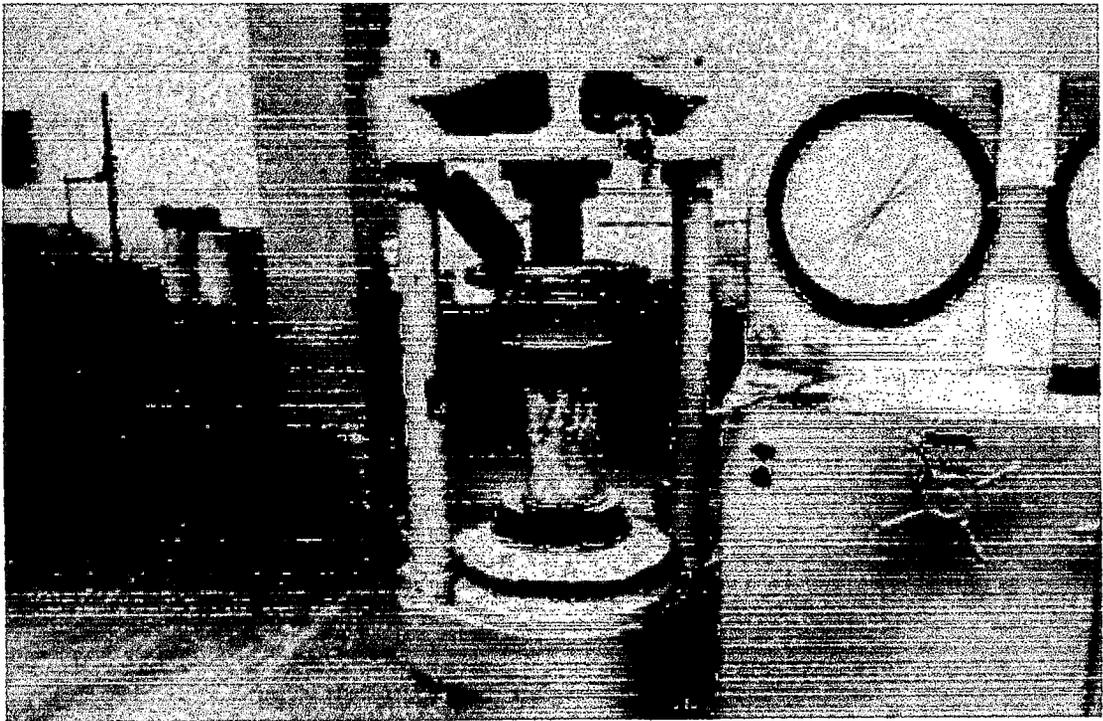


FOTO N° 30: Máquina de compresión donde se realiza el ensayo de resistencia a la compresión.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

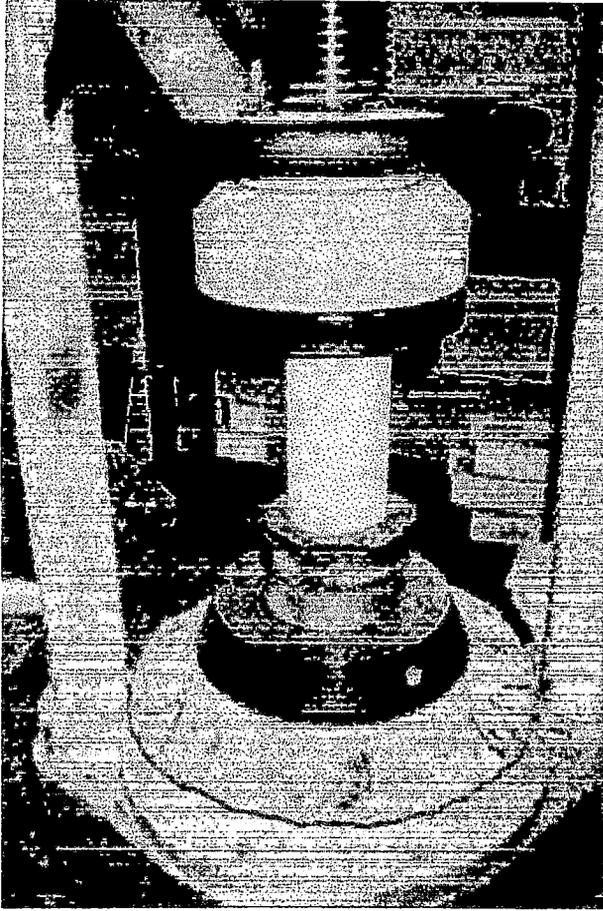


FOTO N° 31: En esta foto se muestra el ensayo de resistencia a la compresión de una probeta 4x8" que ha estado sumergida en una solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt.

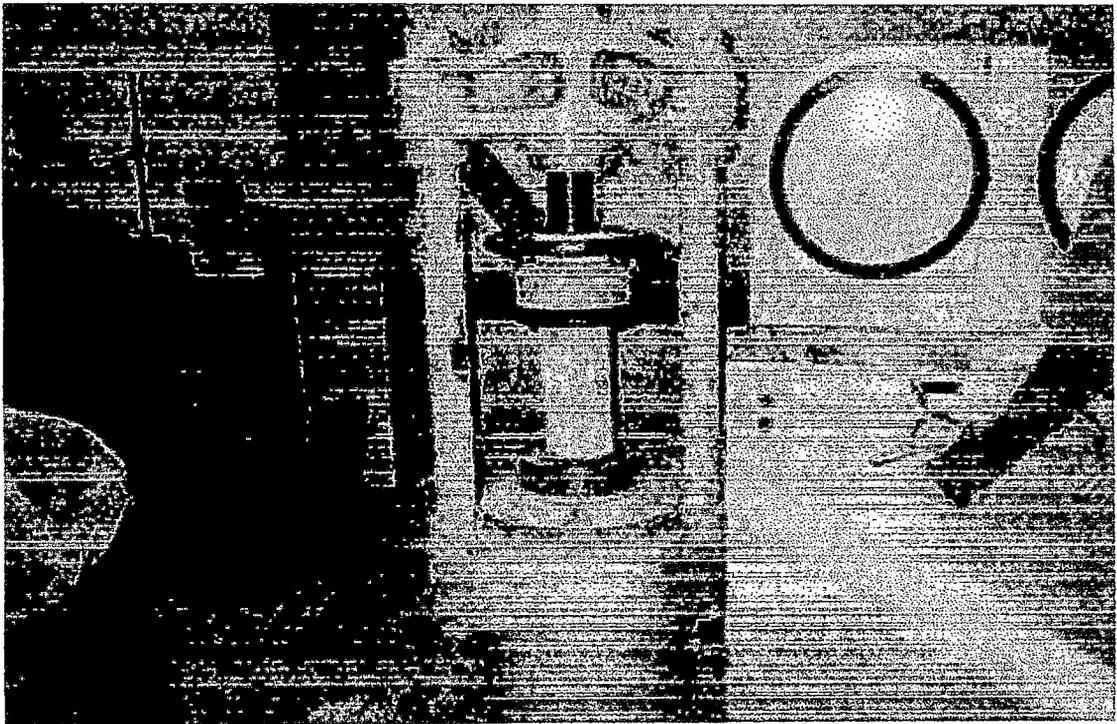


FOTO N° 32: Ensayo de resistencia a la compresión de probetas 6x12" que nos permitirá obtener el factor de extrapolación.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

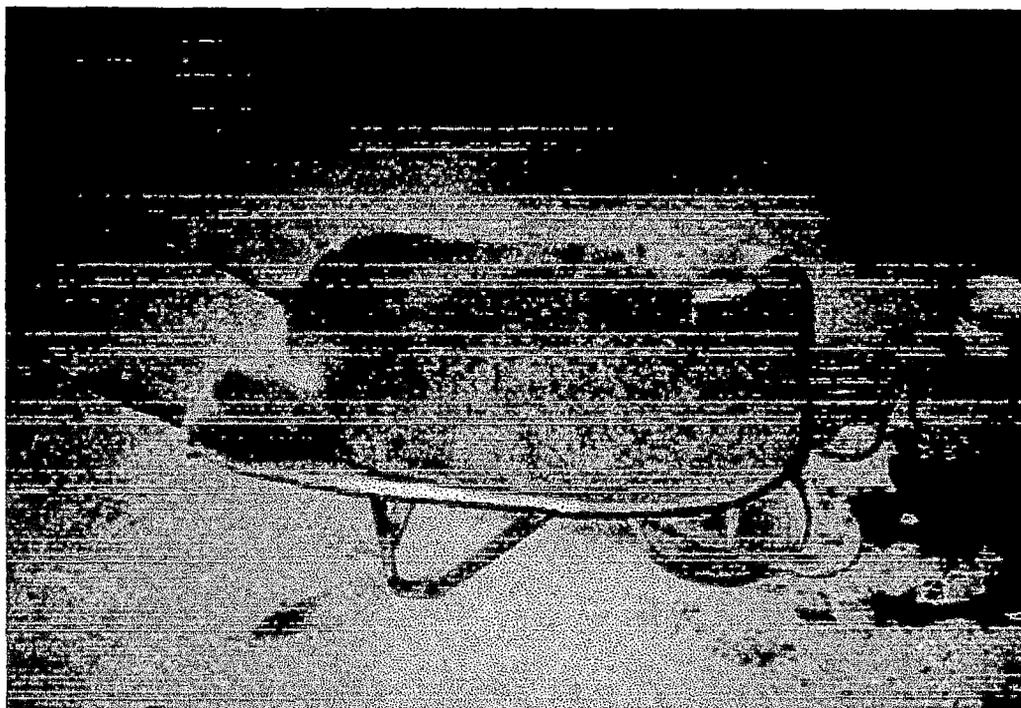


FOTO N° 33: Mezcla de concreto, listos para el moldeo en probetas 4x8".

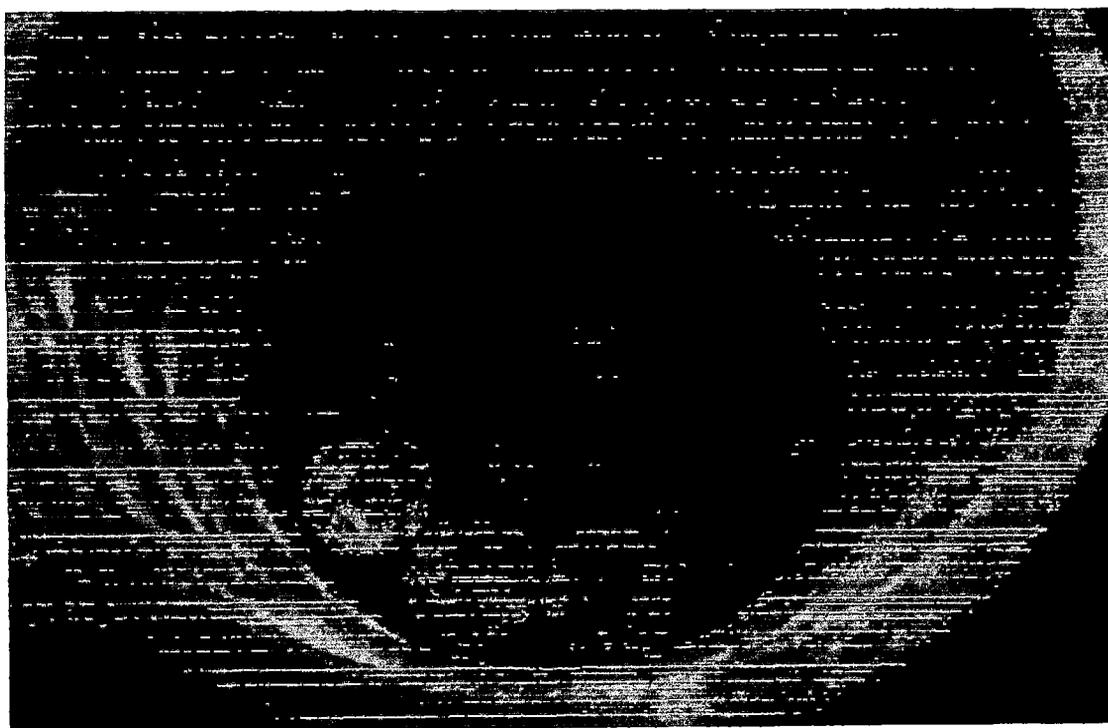


FOTO N° 34: Probetas 4x8" sumergidas en una solución de sulfato de magnesio 100 gr/lt.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"



FOTO N° 35: Vista de la estructura interna de la probeta, presencia de puntos blancos en el interior del concreto.

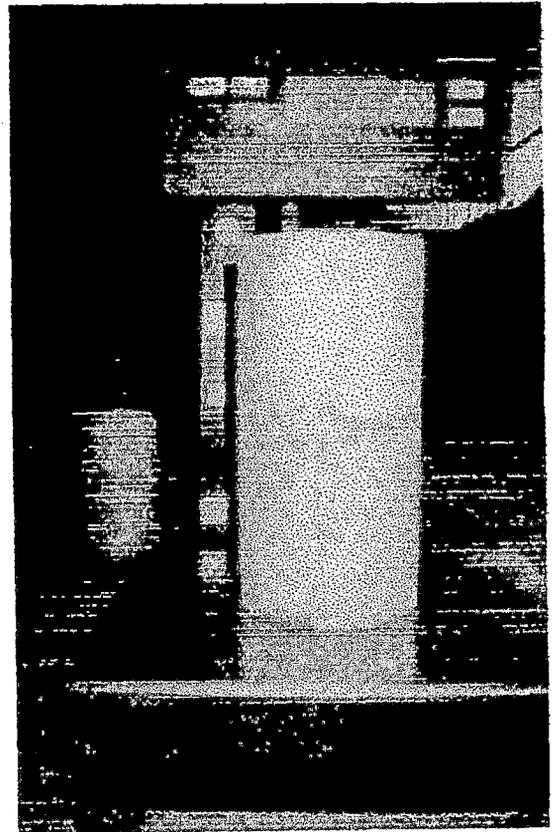


FOTO N° 36: Pesado en una balanza electrónica, para determinar las variaciones de peso. (incremento y pérdida).

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

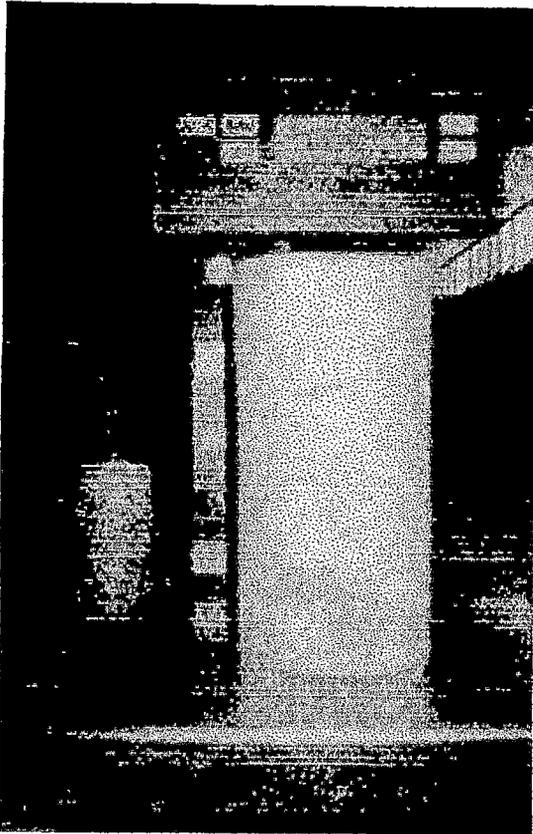


FOTO N° 37: El pesado es una etapa muy importante en los ciclos del ensayo de humedecido, secado y pérdida de peso, este tiene que realizarse previo enfriamiento.

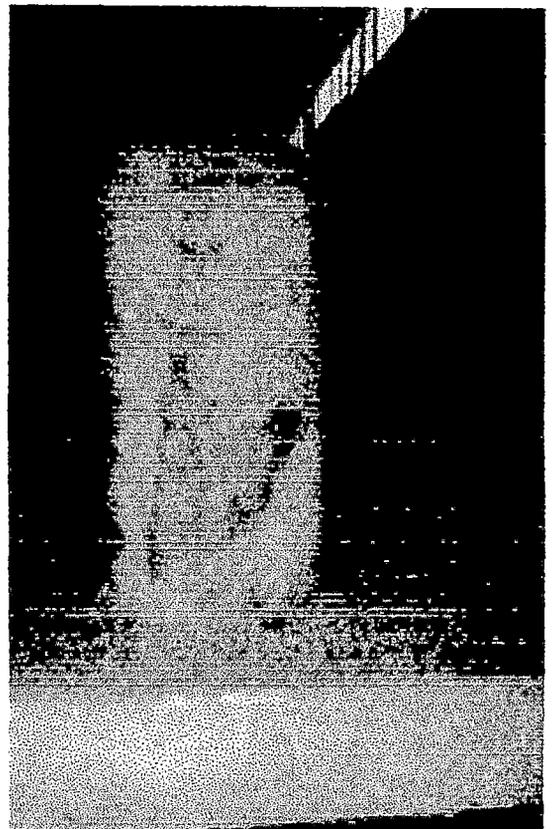


FOTO N° 38: En esta probeta se aprecia daños en su superficie luego de una serie de ciclos de humedecido y secado.

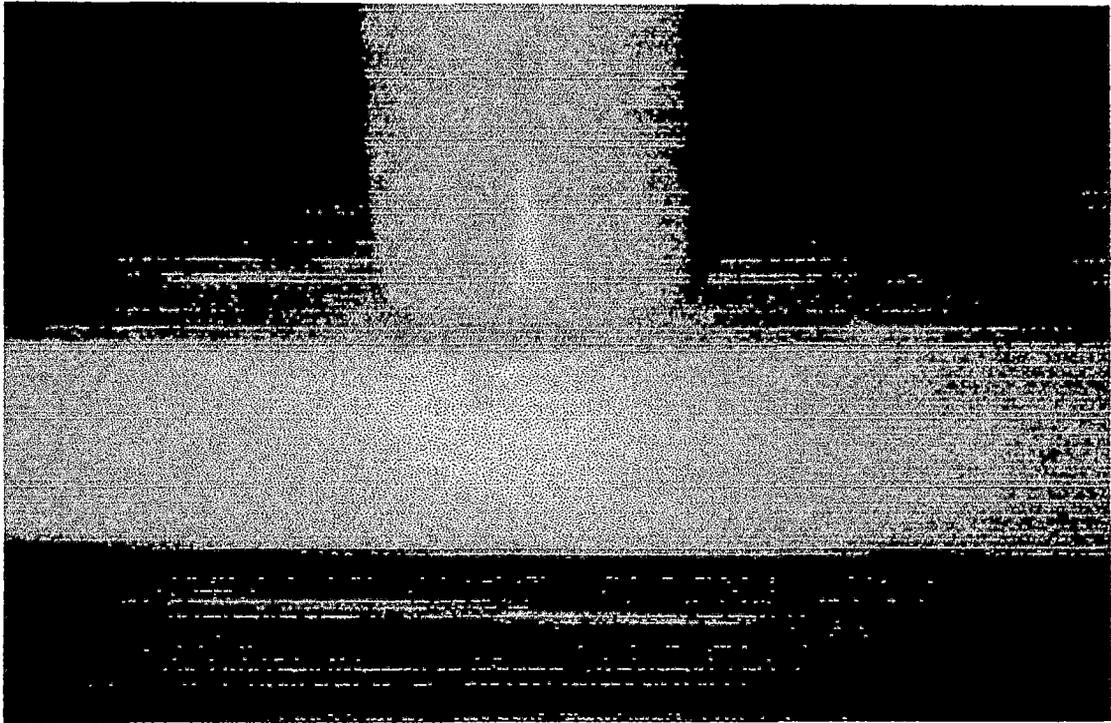


FOTO N° 39: Para un mejor análisis de la corrosión se debe monitorear las manifestaciones físicas que presenta el concreto



FOTO N° 40: Las probetas presentan manchas blancas que van deteriorando la superficie de la probeta de concreto.

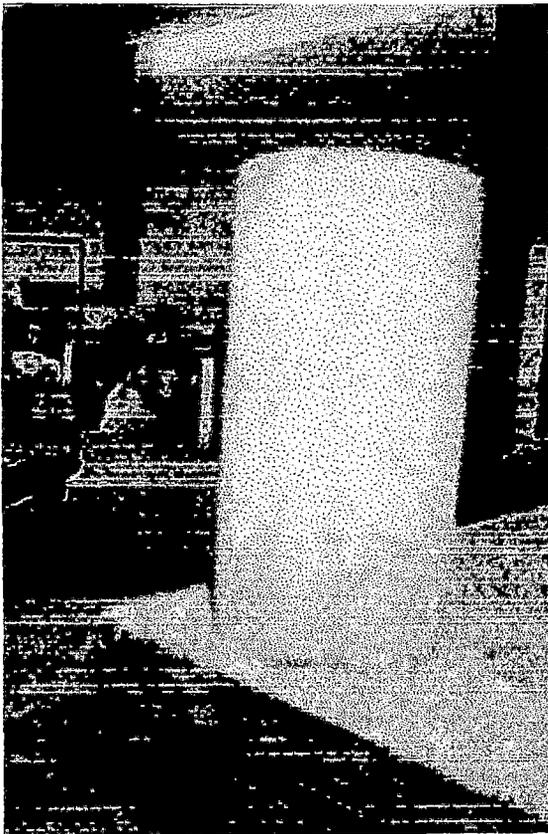


FOTO N° 41: Las probetas 4x8", son las apropiadas para realizar los ensayos de durabilidad, por su maniobrabilidad y facilidad de traslado.

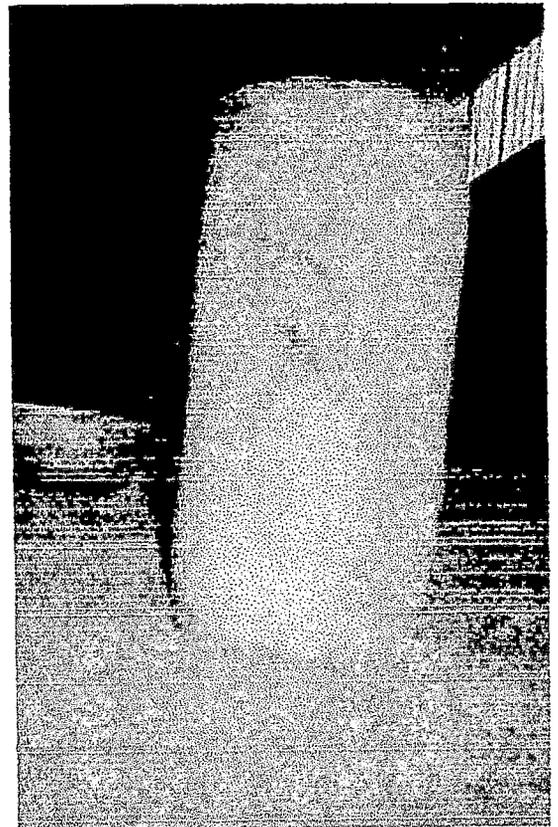


FOTO N° 42: La numeración de las probetas es importante para realizar un adecuado monitoreo del mismo.

ANEXO E: OTROS.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- 1. Casos importantes de corrosión en el concreto**
- 2. Especificaciones técnicas del Cemento Atlas Tipo I**
- 3. Especificaciones técnicas del Sulfato de Magnesio.**

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

CASOS IMPORTANTES DE CORROSIÓN EN EL CONCRETO

Caso A: cuando el diseño por durabilidad queda supeditado a las necesidades estructurales del elemento.

Caso B: sin lugar a dudas, otros factores que intervienen en este problema son la combinación de factores en un proyecto, como pueden ser el costo y las solicitudes estructurales menores, entendiéndose por estructuras menores aquellas con bajas resistencias a compresión.

Caso C: el diseño estructural de los elementos colocado por encima del diseño por durabilidad no es la única causa de un deterioro prematuro de una estructura. Este caso muestra la forma en que la aplicación de procedimientos constructivos deficiente en la ejecución del elemento, acompañados de una supervisión de construcción poco seria, inducen un problema de durabilidad mayor que representa un costo económico nada despreciable.

TRES CASOS DE ESTUDIO

A. Puente de concreto cimentado con pilas enterradas en el fondo oceánico.

- ***Condiciones de exposición y servicio.***

El concreto fue elaborado en rangos de temperaturas que varían entre 30 y 40 °C, humedad relativa superior al 80% y velocidades de viento de moderadas a altas.

El concreto está expuesto a la acción de las sales inorgánicas presentes en el agua de mar, la acción abrasiva del oleaje y en particular en las pilas se tienen cuatro condiciones de exposición: en el aire, en la zona de oleaje, sumergidas en el agua de mar y enterradas en el subsuelo marino.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- ***Problemática de la estructura.***

A cinco años de haber sido construida la estructura se manifestó un patrón de fisuramiento claramente asociado a la posición del acero de refuerzo en el interior del elemento. Esta condición se corroboró y se reconoció el proceso causa-efecto del problema, al identificar un problema de corrosión avanzado en una parte muy importante de las pilas, por lo que se decidió realizar una reparación mayor. Dicha actividad contempló las siguientes acciones:

- Remoción del concreto superficial hasta la profundidad del acero de refuerzo y ligeramente por detrás de las varillas.
- Limpieza de las varillas con un sistema abrasivo para remover los productos de la corrosión, hasta asegurar tener el acero limpio para ser recubierto con concreto.
- Colocación de una camisa de fibra de vidrio en cada una de las pilas e inyección de una lechada de mortero elaborada con cemento Pórtland.

A cinco años de la reparación, un número considerable de las pilas presenta signos evidentes de corrosión del acero, pérdida de concreto en la zona de oleaje y camisas de fibra de vidrio desprendidas o rotas.

Dado que hay muestras claras de problemas progresivos en algunas de las pilas de concreto, se ha tomado la medida de colocar pilas gemelas e incluso tirantes para restituir el soporte estructural necesario para la superestructura.

El tránsito vehicular sobre el puente tiene restricciones de velocidad, al establecer 30 km/h como velocidad máxima de circulación en su

superficie. Esto obedece a que se conoce que a mayor velocidad del vehículo, mayores vibraciones se transmiten en el elemento, lo cual puede inducir a una falla súbita.

Actualmente se están analizando las acciones a tomar en las que se incluyen: reparar con la técnica empleada hace cinco años, utilizar una técnica de reparación diferente, la reposición de las pilas dañadas con nuevas o la construcción de un nuevo puente. De estas opciones, se considera que la primera es poco probable por el fracaso obtenido en el primer intento y de las tres restantes puede decirse que deberán garantizar su adecuado funcionamiento y sustentar su aplicación con un análisis de costos detallados.

- ***Evaluación del daño de la estructura.***

La calidad del concreto se calificó de regular a mala, en lo cual se identificaron problemas como: corrosión del acero de refuerzo, permeabilidad secundaria, concentración de sales agresivas en niveles superiores a los permitidos, volúmenes de concreto desprendidos en la zona de oleaje en algunas pilas, así como panales de abeja. Aunado a lo anterior se tienen evidencias de aplicación de procedimientos constructivos deficientes y diseños inadecuados en cuanto a recubrimientos de concreto, calidad de la mezcla empleada y métodos de colocación de las estructuras.

El daño principal es la corrosión, mismo que se ve acrecentado por la permeabilidad secundaria (fisuras, disolución, etc.): este daño se encuentra en una etapa progresiva de evolución, ya que ni la estructura original ni las reparaciones realizadas han tenido éxito en el control de este proceso. Si se reconoce este ritmo de evolución es posible suponer que en un tiempo no superior a los 15 años exista un riesgo elevado de falla en la superestructura.

La resistencia a compresión especificada para el proyecto se cumplió en forma adecuada, lo cual significa que esta propiedad no es una condición suficiente y necesaria para garantizar la durabilidad de una estructura de concreto.

- **Comentarios.**

El concreto empleado no satisface las características físico-químicas necesarias para soportar las condiciones de exposición y servicio a las que están sometidas las pilas y por tanto es natural que el concreto tenga un deterioro acelerado; los factores de esta falta de cumplimiento son el deficiente diseño de la mezcla y los inadecuados procedimientos constructivos empleados en su colocación.

La causa principal del deterioro son la corrosión del acero de refuerzo, el ataque químico y el efecto abrasivo derivado del oleaje.

En este caso se establece de una manera fehaciente que el diseño estructural no fue suficiente para garantizar la vida útil de la estructura, ya que es evidente que los requisitos estructurales fueron satisfechos.

B. CASA HABITACIÓN DE UNA PLANTA.

- **Condiciones de exposición y servicio.**

El concreto se elaboró en rangos de temperaturas que varían entre 15 y 25 °C, humedad relativa que varía entre el 40 y 60% y con velocidades de viento de moderadas a altas.

El concreto está expuesto a la acción de las sales inorgánicas presentes en el terreno; las concentraciones de sales sulfatos y cloruros medidos en el lugar están por encima de los máximos recomendados para las estructuras de concreto. En la vecindad del sitio existen estructuras similares a la del proyecto y en un lapso menor a 15 años, éstas

presentan daños severos por ataque de sulfatos y corrosión del acero de refuerzo.

- ***Diseño estructural***

Las especificaciones del concreto definidas por sus requisitos estructurales, marcan el uso de un concreto de 15 MPa, con varillas de refuerzo con un diámetro de 3/8" y un recubrimiento máximo de 2 cm.

- ***Diseño por durabilidad.***

En atención a las condiciones de exposición y servicio a las que se expone el concreto, se requiere que el mismo en su diseño cumpla con: el uso de un cemento resistente al ataque por sulfatos, una disminución importante de la permeabilidad, de tal forma que el acceso o tasa de penetración de las sales al interior del concreto se vea limitado o eliminado, una protección al acero de refuerzo que impida su corrosión.

Para conseguir lo anterior es necesario aplicar criterios de diseño por durabilidad que con seguridad darán por resultado el uso de un concreto con un cemento especial, con una resistencia mecánica muy superior a la especificada y con una serie de adiciones que garanticen su trabajabilidad en estado fresco y la protección al acero en el concreto endurecido.

Al tomar como referencia los requisitos de diseño por durabilidad para un concreto bajo estas condiciones de exposición y servicio, se recomienda el uso de un concreto con una resistencia a compresión mínima de 30 MPa, una relación agua/cemento < 0.45 , un contenido mínimo de cemento de 300 kg/m³, el uso de un espesor de recubrimiento mayor al acero y el uso de un cemento especial. Es importante mencionar ningún concreto por debajo de 20 MPa es considerado como durable.

- **Comentarios.**

Como se puede ver con claridad, el diseño estructural definido para este elemento queda muy lejos de satisfacer los requisitos de durabilidad, con lo que se demuestra que este tipo de diseño es considerado en forma independiente de este requisito. Dicha situación plantea a su vez una consideración económica, ya que indudablemente las mayores exigencias derivadas por el diseño con base en durabilidad inducen un incremento importante en el costo inicial del proyecto.

En cuanto al aumento del costo inicial, puede resultar sencillo definir si es preferible invertir en este beneficio al principio o pagar las consecuencias de un deterioro prematuro de la estructura. Respecto a este tipo de análisis, se sabe que los costos de reparación o reemplazo son varias veces superiores a los costos de una inversión inicial adecuada por más alta que resulte.

Se puede asegurar que con las características físicas (dimensiones, espesores de recubrimiento del acero, resistencia a compresión, etc) de los elementos que constituyen el proyecto, se presentará a corto o mediano plazo un problema de durabilidad si las condiciones ambientales y de servicio no son consideradas como prioritarias para el diseño final.

C. PLANTA DE ALIMENTOS EN CONSERVA.

Planta industrial que produce 1.000.000 de cajas de alimentos en conserva. La estructura de interés son los pisos de la planta colados en tablero de ajedrez, que son de concreto con 10 a 12 cm de espesor recubiertos con un revestimiento epoxídico de aproximadamente 1 cm de espesor. La resistencia a compresión solicitada al concreto es de 25 MPa con un revenimiento de 12 cm.

- **Condiciones de exposición y servicio.**

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

El concreto fue elaborado en rangos de temperaturas que varían entre 20 y 25 °C, humedad relativa media y se puede suponer que con velocidades de viento bajas.

En servicio, el concreto está expuesto a la acción de diferentes sustancias como ácido acético, salmueras, grasa animal y vegetal, vapor de agua (temperaturas > 150 °C) y abundante agua.

Es importante mencionar que independientemente del agua que se encuentra en contacto con el piso durante el proceso, se utiliza una gran cantidad de agua extra para la limpieza de las zonas de trabajo. En combinación con estas condiciones se presenta la acción abrasiva que produce el tránsito sobre la superficie de montacargas y plataformas con pesos de hasta 4 toneladas.

- ***Problemática de la estructura.***

Los daños de los pisos están perfectamente localizados en las áreas de influencia de los ácidos y el tránsito de los equipos, es decir, en la línea de producción. Las áreas aledañas presentan un nivel de daño diferente caracterizado por un patrón de fisuramiento asociable a un proceso de contracción por secado. Los hormigones de la zona de producción presentan un daño generalizado en el que identifica una fuerte disolución de la pasta superficial, desprendimientos de agregados, pérdida de adherencia y disminución del espesor de concreto en algunos casos en 2 cm, a pesar de tener un recubrimiento epoxídico. Aunado a estos daños se presenta un fisuramiento abundante con evidencias de ser progresivo. En diversos sitios del área de operación, se pudo observar que los fluidos circulantes se encuentran inmediatamente debajo del concreto, saturando el material de apoyo de los pisos de concreto, con esta condición se tiene un frente de ataque al concreto por ambas caras.

La vida útil del concreto es de 2 años o menos, lo que provoca la constante reposición del material con los consecuentes costos directos e indirectos.

Lo anterior repercute en una disminución de la eficiencia de los equipos de producción derivada de las actividades de reparación, costos permanentes de reparación, riesgo mayor para la ocurrencia de un accidente por los desniveles presentes en el piso, contaminación del medio ambiente por la falta de control de los ácidos con los que trabajan y que por los tipos de falla observados es claro que contribuyen a contaminar el subsuelo de la planta, y daños a los equipos de producción por su remoción repetida.

- ***Evaluación del daño de la estructura.***

La calidad del concreto se calificó de regular a mala, en lo cual se identificaron los problemas tales como: diseños heterogéneos sin ningún control sobre las características del producto, procedimientos constructivos inadecuados y deficientes, disolución del concreto, carbonatación, corrosión en los casos en que se detectó acero ya que en algunas losas o áreas se halló concreto sin refuerzo alguno, pérdida de adherencia entre el agregado grueso y la pasta de cemento, permeabilidad secundaria derivada del fisuramiento, pérdida de adherencia entre el recubrimiento superficial y la losa de concreto, y disolución que provoca una superficie irregular de rodamiento.

En las zonas circundantes a la zona de producción, el concreto se califica de regular a bueno, y en ellas el daño principal es una sola fisura al centro de las losas individuales y algunas fracturas en las esquinas de las losas por un soporte inadecuado del terreno base.

- ***Comentarios.***

La calidad del concreto de la zona de producción se calificó como de regular a mala por su especificación, diseño, y en algunos casos por el procedimiento de elaboración y los procedimientos constructivos pocos adecuados.

Las causas del deterioro acelerado son principalmente el ataque ácido, la carbonatación, la abrasión, el impacto y la corrosión del acero de refuerzo. Estas se derivan de la mala calidad del producto, los deficientes procedimientos constructivos empleados durante su colocación y la falta de consideraciones relativas a las condiciones de exposición y servicio durante la etapa de diseño de la estructura. Es importante reconocer que para el concreto no es el componente más adecuado para resistir un ataque ácido tan fuerte, por lo cual es necesario aplicar un recubrimiento superficial adecuado y colocado en forma eficiente.

Esta es una clara evidencia que la resistencia a compresión como especificación de un concreto no puede garantizar la durabilidad de una estructura, ya que como este caso constata, la condición actual de los pisos hace complicada la operación de la planta y por tanto se requiere una sustitución total de los hormigones de la zona de producción. Además de esta reposición se debe hacer un aislamiento del terreno natural que ya se encuentra fuertemente contaminado, o bien sustitución total del material.

CONCLUSIÓN

- El diseño estructural requiere integrar en su análisis el diseño de durabilidad para garantizar el adecuado desempeño de las estructuras a través del tiempo. Por lo tanto, se puede tener clara conciencia de que el diseño por durabilidad es un parámetro independiente del diseño de cada elemento de concreto.

- Las condiciones de exposición y servicio son necesarias de considerar en el diseño de una estructura de concreto, de tal manera que cada una de ellas sea contemplada o incluida en el análisis, esto es, no se puede seguir pensando que un concreto expuesto a un ambiente con sales agresivas sea diseñado igual que un concreto cuyas condiciones de operación son inofensivas.

- El deterioro acelerado incluso hasta la inhabilitación de muchas estructuras de concreto, es un síntoma claro de que la durabilidad no es una propiedad intrínseca del material sino, por el contrario, una propiedad que se puede y debe diseñar para cada caso particular.

- El diseño actual de las estructuras de concreto no puede hacerse sólo con base en consideraciones estructurales; en todos los casos es obligatorio considerar las condiciones de exposición y servicio de cada elemento y tomar las medidas preventivas al respecto.

- Los análisis de costos de cada proyecto no debe realizarse tomando como base el costo inicial, sino el costo del proyecto para el tiempo de vida útil que se desea garantizar.

- Será recomendable que, en un futuro, en los códigos de diseño estructural el apartado dedicado a la durabilidad y las especificaciones que se derivan de él, sean consideradas a nivel de cumplimiento obligatorio.

- La durabilidad de las estructuras de concreto sólo se puede satisfacer si en su diseño y ejecución se consideran como partes integrales: el adecuado diseño y el detalle estructural; el tipo, características y calidad de los componentes; y por último la aplicación de buenas prácticas constructivas durante la colocación, consolidación y curado del elemento.

Problemática actual del concreto

Una forma sencilla de abordar esta problemática actual de las estructuras de concreto es citar algunos ejemplos donde la ignorancia o la poca importancia dada a la durabilidad durante su diseño y la falta de evaluación de las condiciones de exposición y servicio de los elementos se tradujo en el deterioro acelerado de las estructuras, con sus subsiguientes problemas operativos., mantenimiento, costos de reparación y disminución de su vida útil.

Caso 4

Datos de la construcción

- Edificio de cinco niveles, de uso habitacional; construido con un sistema de columnas y losas; concreto recubierto con pintura vinílica.
- Especificaciones: f'_c 250 kg / cm² y revenimiento desconocido.

Condiciones de exposición

- Construido en zona costera a menos de 50 m de la playa.
- Clima húmedo marino.
- Temperaturas promedio superiores a los 30 °C y humedad relativa entre 60 y 80 por ciento.
- Cimentación en contacto con un suelo rico en sales (Cl y SO₄).
- Fachada que da a la playa con elevado contenido de sales producto de la evaporación del agua de mar y que son transportadas por el viento.

Condiciones de servicio

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- Ataque químico de débil a moderado.
- Riesgo de moderado a elevado de corrosión del acero de refuerzo.

Descripción de daños

- La identificación y registro de daños se tomó a partir del quinto año de construcción; la evaluación de daños se hizo a los diez años de operación.
- La ubicación de los daños es en las columnas y balcones que tienen su cara hacia la playa; en los concretos del interior no se observó daño alguno.
- Los daños se caracterizan por fisuramiento, desprendimientos superficiales de concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo; en casos extremos han desaparecido los estribos.
- La ubicación de las fisuras está claramente asociada en superficie a la posición del acero de refuerzo, y a profundidad se relaciona con la sección media de la varilla. Las fisuras presentan continuidad, longitud igual al acero de refuerzo y ancho de hasta 5 mm y sin relleno.
- La mayoría de los desprendimientos se ha dado en la parte inferior de los balcones.
- El acero presenta productos de corrosión en toda la superficie expuesta y se estima que ha perdido menos del 10 por ciento de su sección original.

Características de los elementos

- En el concreto se observó segregación, sangrado, estructuras de panal de abeja, elevado contenido de aire (> 10%), alta permeabilidad, elevado coeficiente de difusión de cloruros, diferencias importantes en el concreto de un mismo elemento, inadecuada elección del tamaño máximo del agregado grueso y resistencia superior a los 400 kg / cm².

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- Recubrimientos diferenciales del acero, siendo los de mínimo espesor aquellos que tienen la condición de servicio más desfavorable.
- En el concreto superficial se midió un contenido de cloruros de 3 kg / m³ de concreto y a la altura de la varilla el contenido fue de 9 kg / m³; contenidos que se ubican muy por encima del valor límite para la ocurrencia de la corrosión, que es de 0.8 kg / m³.

Consecuencias

- Necesidad de una reparación mayor a 10 años de construido el edificio, para asegurar el adecuado funcionamiento y seguridad de la estructura.
- Costos del proyecto incrementados en un porcentaje importante, derivado de los altos costos de mantenimiento y reparación.

Caso 5

Datos de la construcción

- Puente carretero de más de 3 km de longitud y cimentado con pilas de concreto.
- Especificaciones: f'_c 300 kg / cm² y revenimiento desconocido.
- El puente cuenta con una reparación mayor, consistente en un encamisado de las pilas con un mortero y una funda de fibra de vidrio.
- En varias secciones del puente se ha incrementado el número de pilas para asegurar su funcionamiento estructural.

Condiciones de exposición

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- Construido en zona costera con secciones apoyadas en tierra y fondo marino.
- Clima húmedo marino.
- Temperaturas promedio superiores a los 30 °C y humedad relativa entre 60 y 80 por ciento.
- Cimentación en contacto con un suelo rico en sales (Cl y SO₄).
- Pilas con secciones permanentemente sumergidas en agua de mar, secciones en la zona de oscilación del nivel del mar (splash) y secciones por encima del nivel del mar.

Condiciones de servicio

- Ataque químico moderado a fuerte.
- Riesgo de corrosión del acero de refuerzo de elevado a muy intenso.

Descripción de daños

- Sólo se han intensificado daños en una sección del puente que usó pilas de un constructor diferente.
- La identificación y el registro de daños se tomó a partir del segundo año de construcción; la evaluación de daños se hizo a los 10 años de operación.
- La ubicación de los daños es principalmente en las pilas, en la zona de splash y la sección de pila que se ubica por encima del nivel del mar.
- Los daños se caracterizan por fracturamiento, expansión de los elementos, desprendimientos superficiales de concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo con pérdidas fuertes de la sección transversal.

- La ubicación de las fisuras está claramente asociada a la posición del acero de refuerzo en superficie. Las fisuras presentan continuidad, longitud igual al acero de refuerzo y ancho de hasta 10 mm y sin relleno.
- La mayoría de los desprendimientos se dan en la zona de mareas, en donde algunos de los desprendimientos ha llegado a una profundidad de hasta varios centímetros de la parte trasera del acero de refuerzo. En una cantidad importante de pilas, la protección del acero de refuerzo ha desaparecido o no funciona adecuadamente.
- El acero presenta productos de corrosión en toda la superficie expuesta y se estima que ha disminuido promedio menos de 15 por ciento de su sección original.
- En la zona reparada se observan daños en la franja de splash con pérdida de la camisa de fibra, el mortero y el concreto. Muchas de las pilas presentan expansión y han deformado o roto la camisa de fibra con evidencias claras de corrosión.
- En la zona de splash y la zona que se encuentra inmediatamente por encima de ella se observa un adelgazamiento de la camisa de fibra de vidrio.

Características de los elementos

- En el concreto, en forma superficial sólo se observan algunos defectos de construcción tales como poros y segregación.
- El recubrimiento del acero es escaso para una condición de servicio tan desfavorable; en algunos casos se observó que éste es menor a 25 mm.

Consecuencias

- Necesidad de una reparación mayor a cinco años de construido el puente, para asegurar el adecuado funcionamiento y seguridad de la estructura.

Tesis: "Proceso de corrosión en Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Sulfato de Magnesio usando Cemento Pórtland Tipo I"

- Costo del proyecto incrementado en un porcentaje importante, derivado de los altos costos de mantenimiento y reparación.

- La efectividad de la reparación puede ser severamente cuestionada, ya que a cinco años de su ejecución el daño no sólo no se ha detenido, sino que ha continuado y dañado a la misma reparación.

Esta síntesis de dos problemas relacionados con la durabilidad de las estructuras de concreto puede representar una clara muestra de la problemática actual, condición que no cambiará mientras las especificaciones de concreto se relacionen tan solo con su resistencia a la compresión y su consistencia.

Conclusiones

El acelerado deterioro de las estructuras de concreto es la causa fundamental para que se dé un cambio en el diseño y construcción de las mismas. Dicho cambio tiene la obligación de analizar en forma particular las condiciones de exposición y servicio de cada elemento y ejecutarlas mediante la aplicación de las prácticas constructivas recomendadas por los comités internacionales de construcción.

La evaluación sistemática de las solicitudes de cada estructura de concreto redundará en beneficios económicos para todas las partes involucradas al hacer estructuras más duraderas y seguras.

En la utilización de concreto durable no es posible realizar análisis de costos simplistas, al comparar productos convencionales contra aquellos que son de alto comportamiento, ya que si tomamos en cuenta los casos presentados en este documento, se puede concluir con claridad que los costos finales derivados del producto original, su mantenimiento y reparación, serán siempre superiores a los costos originales derivados de un producto de alto desempeño.

De los casos analizados se desprenden dos observaciones significativas, dignas de ser comentadas:

Cuarto caso. En el caso 4, la resistencia a la compresión obtenida es muy superior a la especificada en el proyecto, es decir, se puede concluir que la resistencia mecánica no es un factor definitivo en el incremento de la durabilidad y se observa una gran cantidad de defectos derivados del diseño y de malas prácticas constructivas que favorecen el tipo de daño que se encuentra en los elementos.

Quinto caso. En el segundo caso se observa la poca efectividad que tienen las técnicas de reparación cuando las condiciones de servicio de la estructura son severas.