

Ligante de Albañilería

- 1 -

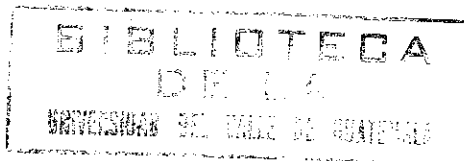
Ligante de Albañilería

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

**Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Civil**



Ligante de Albañilería

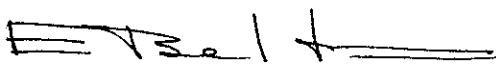


William Olivero León

**Trabajo de graduación presentado para optar al
grado académico de Ingeniero Civil**

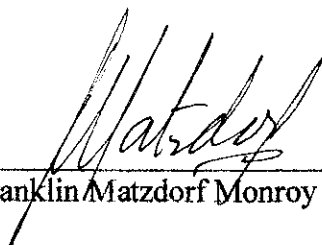
Guatemala de la Asunción, Junio de 2000

Vo. Bo. :

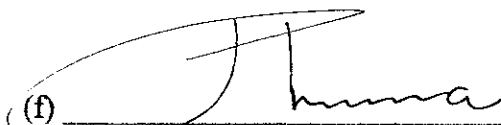
(f) 

Ingeniero Emilio Beltranena Matheu
Asesor


Tribunal:

(f) 

Ingeniero Franklin Matzdorf Monroy

(f) 

Ingeniero Plinio Estuardo Herrera

(f) 

Ingeniero Emilio Beltranena Matheu

Fecha de aprobación:

DEDICATORIA

A Dios

A mi esposa: Roxana Reynoso Madrid

A mi hija: María Fernanda

A mis Padres: Rosario y Antonio

A mis hermanos: Javier, Rita María y Gabriel

A mis abuelos: Leonor y Luciano
Guadalupe + y Rafael +

A mis sobrinos: Nicolás y Jose Ignacio

Agradecimientos

- A mi asesor: Ingeniero Emilio Beltranena Matheu
- A la fábrica Cementos Progreso S.A.
- Al jefe del laboratorio de Investigaciones: Don Mario Sierra
- Al personal del laboratorio de Investigaciones:

William Oliva
Marcos Gómez
Carlos Aquino
Ignacio

- Al Ingeniero Estuardo Herrera
- Al Señor Alfonso Reynoso

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCION	9
II. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	10
III. ANTECEDENTES	
A) Breve Historial	11
B) Normas y Características	13
IV. JUSTIFICACIÓN	14
V. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
VI. HIPOTESIS	16
VII. MARCO TEORICO	17
A) Características escogidas para el ligante de albañilería y normas aplicables	17
B) Materiales escogidos para la fabricación del ligante de albañilería	22
C) Mezclas propuestas para evaluación a nivel de laboratorio	24
VIII. MARCO EXPERIMENTAL	25
A) Preparación de los materiales	25
B) Ensayo de los materiales	28
C) Preparación de mezclas a evaluar y ensayos preliminares	29
D) Ensayos a las mezclas finales sin aditivo incorporador de aire	31
D.1) Resistencia a compresión	32
D.2) Retención de agua	32
D.3) Tiempo de fraguado	32

	página
D.4) Consistencia Normal	32
D.5) Contenido de aire	32
D.6) Expansión Autoclave	32
D.7) Fineza tamiz 325	32
E) Resultados de mezclas finales sin aditivo incorporador de aire	33
F) Ensayos a mezclas finales con aditivo incorporador de aire	34
G) Resumen de Resultados Finales de mezclas con aditivo Incorporador de aire	35
H) Comparación de Resultados de mezclas con aditivo y sin aditivo incorporador de aire	44
I) Fichas de resultados de mezclas finales con aditivo	51
IX) CONCLUSIONES	55
X) RECOMENDACIONES	57
XI) BIBLIOGRAFÍA	58
XII) GLOSARIO	60

Lista de Tablas

	Página
VII.A.1 Guía para selección de Morteros de Mampostería	20
VII.A.2 Requerimientos físicos para Cemento de Mampostería tipo S	21
VII.B.3 Análisis Químico: Cemento Tipo I	22
VII.B.4 Análisis Químico: Caliza	23
VII.B.5 Análisis Químico: Toba Volcánica	23
VII.C.6 Mezclas propuestas para evaluación a nivel de laboratorio	24
VIII.A.7 Distribución de bola de acero para molino	26
VIII.B.8 Resultados de ensayos físicos a materiales escogidos	28
VIII.C.9 Ensayos Preliminares a mezclas propuestas	30
VIII.E.10 Resultados de mezclas finales sin aditivo incorporador de aire	33
VIII.G.11 Resumen de resultados finales de mezclas con aditivo incorporador de aire	35
VIII.H.12 Comparación de resultados de mezclas finales con aditivo y sin aditivo	44
VIII.I.13 Ficha de resultados mezcla: M9Aa	51
VIII.I.14 Ficha de resultados mezcla: M10Aa	52
VIII.I.15 Ficha de resultados mezcla: M11Aa	53
VIII.I.16 Ficha de resultados mezcla: M12Aa	54

Lista de Gráficas

	Página
VIII.G.1 Gráfica de porcentajes de fineza, que pasa tamiz 325	36
VIII.G.2 Gráfica de expansión autoclave	37
VIII.G.3 Gráfica de Fraguado Inicial, con método Gillmore	38
VIII.G.4 Gráfica de Fraguado Final, con método Gillmore	39
VIII.G.5 Gráfica de reistencia a compresión a 7 días	40
VIII.G.6 Gráfica de resistencia a compresión a 28 días	41
VIII.G.7 Gráfica de porcentaje de contenido de aire	42
VIII.G.8 Gráfica de porcentaje de retención de agua	43
VIII.H.9 Gráfica de porcentaje de aditivo	45
VIII.H.10 Gráfica de comparación de flujo	46
VIII.H.11 Gráfica de comparación de cantidad de agua	47
VIII.H.12 Gráfica de comparación de porcentaje de retención de agua	48
VIII.H.13 Gráfica de comparación de resistencia a 7 días	49
VIII.H.14 Gráfica de comparción de resistencia a 28 días	50

I. INTRODUCCION

En Guatemala , la construcción con mampostería es muy usual, debido a la facilidad de fabricación de las unidades de la misma, así como beneficio del bajo costo de mano de obra.

El nivel de capacitación del personal de obra en el país es en su mayoría bajo, debido al poco conocimiento y recurso científico con que se cuenta para este tipo de construcciones.

Con base en lo anteriormente dicho, el mortero elaborado en obra, muchas veces no cumple con las especificaciones para lo que fue diseñado. Generalmente el mortero es utilizado para la unión de piezas de mampostería, debidamente reforzados con acero. Entre las propiedades más importantes de los morteros, que afectan el comportamiento de la mampostería reforzada, se encuentra su capacidad para desarrollar una fuerte y durable adherencia con el ladrillo, y el bloque; su fortaleza de trabajo, su resistencia a la compresión y a la tensión, su duración y estabilidad de volumen bajo variadas condiciones a las cuales va a estar sujeto.

El trabajo de Graduación que a continuación se presenta, hace un estudio para la realización de un " Ligante de Mampostería o de Albañilería ". Este deberá ser el resultado de una producción industrial debidamente controlada y deberá cumplir con las especificaciones ASTM C-91, C-1128 y C-1129. En el presente trabajo basado en pruebas de laboratorio, se evalúan una serie de mezclas y se recomiendan 4 dosificaciones finales para ser producidas industrialmente, y subsecuentemente evaluadas, para la escogencia de la fórmula de producción que logre los mejores resultados del punto de vista técnico y económico.

II. OBJETIVOS

A. Objetivos Generales

Optimizar los recursos de nuestro país al usar un cemento o ligante menos resistente que los tipos I y I PM utilizados en la construcción, pero con otras ventajas tales como: mayor economía y mejor calidad integral de los morteros.

Diversificar el uso de los cementos, al generar un cemento o ligante especial para el uso en las construcciones de mampostería o albañilería.

Ahorrar energía en la producción de cemento, ya que en el mismo se sustituye gran parte del clínker por elementos que requieren menos proceso industrial, tal es el caso de la puzolana y la caliza; debido a que el proceso industrial del clínker consume gran cantidad de energía tanto eléctrica como térmica, al activar los silicatos por métodos de transferencia de calor. El producto resultante es un cemento más "Ecológico" y compatible con la protección ambiental.

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas al combinar clínker, cal hidratada, yeso, y caliza ó toba volcánica, y determinar si cumple con los parámetros mínimos para su función como mortero.

B. Objetivos Específicos

1.- Determinar los porcentajes de caliza o toba volcánica, clínker, cal hidratada, yeso, que mejor cumplan con las especificaciones para cementos o ligantes de mampostería.

III. ANTECEDENTES

A. BREVE HISTORIAL

Los morteros tradicionales han sido hechos a base de mezclas de cal viva o cal hidratada y arenas. Estos morteros como consecuencia de su lento endurecimiento y su reducida resistencia final, dieron paso al empleo de morteros de cementos hidráulicos y arenas, con los que se lograron altas resistencias pero mostraron deficiencias en otras características muy deseables en los morteros : plasticidad, adherencia, y retención de agua.

Para compensar estas deficiencias a mediados del siglo pasado, surge un auge en el empleo de morteros mixtos, a base de cemento Portland, cal y arena, para lograr suficiente resistencia mecánica y mejores características de adherencia, retención de agua y cohesión, en especial al utilizar arenas pomez amarillas.

No obstante, en tiempos recientes, dado el mayor costo de la cal con relación al cemento, la escasez y baja progresiva de la calidad de las arenas amarillas disponibles y las crecientes exigencias de mayor resistencia para los morteros de mampostería, en especial para obras de mampostería reforzada, se ha llegado al empleo generalizado de las "savietas" ó morteros de cemento hidráulico y arenas, principalmente de río, para la pega ó levantado de unidades de mampostería. Los morteros de cal ó los mixtos a base de cal y cemento han quedado principalmente para recubrimientos y acabados.

A efecto de contrarrestar la variabilidad de las arenas y de las dosificaciones de los morteros en las obras, últimamente hay un creciente empleo de los llamados morteros premezclados en seco, que actualmente son los preferidos en el sector organizado de la construcción. Dentro de éstos, el mortero típico de pega o levantado sigue siendo el de cemento hidráulico.

Los morteros o "savietas" de cemento hidráulico, además de las deficiencias ya señaladas anteriormente en cuanto a plasticidad, cohesión, baja adherencia y baja retención de agua, tienen el grave inconveniente adicional de que sus resistencias mecánicas son muy altas en relación a la mayoría de las unidades de mampostería utilizadas en el país.

Existe pues un campo propicio para introducir al mercado un cemento o ligante de mampostería , que reúna todos los requisitos deseables para los morteros de mampostería,

y permita al usuario efectuar un trabajo más rápido, de mejor calidad técnica y más económico.

El cemento ó ligante de albañilería se desarrolló en EEUU y algunos países europeos desde 1930.

En America Latina se aplica en algunos países desde 1960. En Centroamérica, ya lo producen en Costa Rica y El Salvador.

Normalmente es producido en las fábricas de cemento y tiene la ventaja de ser presentado y comercializado como un único material cementante para la elaboración de morteros de mampostería, reduciendo así, el número de materiales conglomerantes a usar para obtener un buen mortero.

En Guatemala, durante la pasada década, se han realizado dos estudios para cementos de mampostería, auspiciados por Cementos Progreso S.A.

El presente estudio también auspiciado por Cementos Progreso S.A. , procurará a partir de estos estudios previos, arribar a algunas alternativas de mezclas promisorias que pueden ser evaluadas a nivel industrial y con los usuarios, a efecto de llegar a producir a relativo corto plazo, un cemento o ligante de albañilería que reúna los requisitos deseados.

B. NORMAS Y CARACTERISTICAS DE LOS LIGANTES DE ALBAÑILERIA.

CARACTERISTICAS :

El mortero a formar debe fluir bien, ser trabajable, contar con buena retención de agua y mantener dichas propiedades por largo tiempo. Además debe adherirse bien a las piezas de mampostería y ser consistente y uniforme entre mezcla y mezcla. El mortero en sí mismo, debe ser cohesivo y homogéneo. Debe resistir los cambios de volumen, debe tener buena resistencia mecánica requerida para su uso, y buena extensibilidad (capacidad de elongación ó deformación con las fuerzas internas de la pared).

El contenido de aire es importante para el mortero, del punto de vista de la cohesión y trabajabilidad y por su resistencia al congelamiento y deshielo. En EEUU este último requisito es indispensable y se exigen contenidos de aire de por lo menos 10% a 12%. En Guatemala no existe ese peligro, por lo que el contenido de aire puede limitarse al requerido para dar la trabajabilidad, cohesión y retención de agua necesaria.

NORMAS ASTM :

- NORMA ASTM C91-98 Especificación para Cemento de Mampostería
- NORMA ASTM C1328-98 Especificación para Cemento Plástico (stucco)
- NORMA ASTM C1390-80 Especificación para Cemento de Mortero
- NORMA ASTM C270-97a Especificación para Mortero para Mampostería

IV. JUSTIFICACIÓN

- 1) Se simplifica y facilita la elaboración de los morteros de albañilería, al usar un cemento específico para tal fin: **el ligante de albañilería**. Actualmente se usan mezclas de cemento hidráulico- arena o de cemento hidráulico-cal- arena.
- 2) Al emplear un ligante específico más apropiado para morteros de albañilería, se reducen también los costos de elaboración de los morteros.
- 3) Finalmente y lo más importante, se mejora integralmente la calidad y desempeño de los morteros en que se emplea el ligante de albañilería : resistencia, adherencia, retención de agua, plasticidad, cohesión y facilidad de manejo y aplicación.

V. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La falta de un cemento especial para mortero en nuestro país , hace que en las obras, el personal elabore dicho mortero, de un cemento hidráulico-arena-cal, al utilizar diferentes proporciones volumétricas en cada mezcla, y muchas veces haciendo ésta sobre suelos orgánicos o de otros materiales. Todo esto hace que los resultados no sean los esperados en diseño y construcción de muros y paredes de mampostería, tales como:

- adherencia
- cohesividad
- plasticidad
- resistencia adecuada

y que a la vez permita hacer construcciones más eficientes y económicas.

VI. HIPOTESIS

La combinación de clinker, cal hidratada, yeso, y caliza o toba volcánica ; en porcentajes adecuados forman un mortero que cumple con todas las especificaciones de la ASTM C 91- 98, C 1328-98 y C 1329-98 de ligante para morteros de levantado y recubrimiento.

La fabricación de dicho ligante es factible a nivel industrial.

VII. MARCO TEÓRICO

A. CARACTERÍSTICAS ESCOGIDAS

Trabajabilidad

Esta es una de las características más importantes de ligante en estado plástico, al ser trabajable puede ser esparcido o extendido fácilmente con una cuchara de albañilería, al ser aplicado sobre las piezas de mampostería.

La trabajabilidad ayuda al ligante a soportar las piezas de mampostería, se puede distribuir fácilmente y fluye por debajo de las unidades al ser colocadas y alineadas en su posición.

Esta característica es determinada por la graduación de los agregados, la proporción de los materiales y contenido de aire, el ajuste final de la trabajabilidad del ligante depende del contenido de agua.

La mejor trabajabilidad también significa que el ligante permitirá un mejor rendimiento del albañil al permitirle la colocación de mayor cantidad de piezas por día.

Retención de agua

La retención de agua es la habilidad del ligante de albañilería para evitar la pérdida de agua de mezcla, bajo condiciones de succión y evaporación. Esta característica permite al albañil mayor cantidad de tiempo para ajustar y colocar las piezas de mampostería sin que el mortero se reseque y el ligante empiece a fraguar.

La pérdida de humedad debida a la baja retención de agua del ligante, conduce a que la plasticidad, la adhesión y cohesividad se pierdan rápidamente. Las mayores resistencias a la adherencia se logran con mezclas húmedas y plásticas de buenos resultados.

La presencia de aditivos inclusores de aire ó incorporadores de aire y plástificantes, ayuda a mejorar la retención de agua.

Durabilidad

El ligante debe ser durable y resistente a la acción de agentes agresivos externos. En países donde hay congelamiento y deshielo, se exige el uso de un cierto porcentaje de aire incluido ó incorporado que provee al agua un sitio para expandirse cuando se congela, reduciendo la fragmentación que ocurriría de otro modo por las bajas temperaturas.

En nuestro medio, no existe ese problema, por lo que una baja absorción y permeabilidad es el mejor requisito para lograr un mortero durable.

A menor absorción y permeabilidad mayor resistencia a ataques químicos.

Se recomienda usar en los morteros materiales de baja absorción y utilizar aditivos específicos en situaciones donde se tenga que preveer ataques químicos severos.

Adherencia

La adherencia es una característica importante para lograr que se mantenga una buena unión entre el mortero y las piezas de mampostería, y por lo tanto es dependiente de la combinación mortero-pieza de mampostería dada, por lo que la medición de la misma ha sido objeto de mucha discusión y no está específicamente contemplada en las normas de cementos ó ligantes de albañilería. Si bien no se medirá en el presente estudio, conviene al llegar a la fase de producción industrial del ligante, realizar algunas pruebas comparativas de adherencia por flexión, con morteros fabricados con arenas, bloques y ladrillos representativos de nuestro medio.

Un mortero cohesivo con buena trabajabilidad y adecuada retención de agua es por lo general de buena adherencia.

El empleo de inclusores de aire de burbuja fina y uniforme también mejora la adherencia.

Contracción

Una baja contracción por secado es deseable para evitar la formación por grietas que permitan la penetración de agua. La contracción está influida no solo el ligante sino que por el contenido de agua, la velocidad de evaporación de agua del mortero, las propiedades de las arenas, el contenido de humedad y la succión y absorción de las piezas de mampostería, por lo que se recomienda hacer pruebas en morteros con arenas y ladrillos del medio local, durante la fase de evaluación de la producción industrial del ligante.

Los morteros con ligantes de mampostería son de un módulo de elasticidad más bajo que los actuales a base de cementos hidráulicos. Esto asegura una mayor elongación de los morteros y más capacidad de absorción de los efectos de expansión y contracción en la mampostería.

Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión es la mayoría de las veces usada como parámetro para la selección de un ligante de mampostería, debido a que es fácil de medir y a su relación con otras propiedades como la resistencia a la tensión y la absorción del ligante.

Esta característica depende de la cantidad de ligante usado en un mortero y de la relación de agua-cemento.

La resistencia a compresión debe preferiblemente ser un poco mayor y del orden general de magnitud de las piezas de mampostería a unir. Normalmente no se requiere de altas resistencias para los morteros de mampostería en nuestro medio. Esta característica aumenta con el incremento de ligante y disminuye con el incremento de cal, arena, agua o contenido de aire.

Así mismo, la resistencia a compresión no debe ser el único criterio para la selección de un ligante de mampostería, la adherencia es generalmente tan importante así como la trabajabilidad y retención de agua, ambos requeridos para máxima adherencia

Tiempo de Retención de la Consistencia Plástica del Mortero

Esta propiedad es importante en los morteros de mampostería. Si los mismos se resecan y endurecen prematuramente, al perder su trabajabilidad y cohesión, obligan al operario a agregarles más agua con lo que alteran sus características.

Los morteros deben tener un tiempo de retención de consistencia plástica adecuado.

Esta propiedad depende del tiempo de fraguado inicial y final del ligante, pero también depende de la velocidad de secado del mortero, de la retención de agua del mismo y de las características de las arenas.

Usualmente se evalúa subjetivamente por los operarios, pero puede usarse ensayos con el penetronómetro de cono de ASTM C-780.

Normas Aplicables

Las normas que establecen los requerimientos para un Cemento o Ligante de Mampostería y las cuales son aplicables para la producción de un Ligante de Albañilería, son las siguientes:

- ASTM C-91 98 Especificación para Cemento de Mampostería
- ASTM C-270 97a Especificación para Mortero para Mampostería
- ASTM C-1328 98 Especificación para Cemento Plástico (Stucco)
- ASTM C-1329 98 Especificación para Cemento para Mortero

La norma ASTM C-270 , especificaciones para morteros de mampostería, cubre cuatro tipos de mortero. Los tipos son M, S , N y O, y en la tabla siguiente se presenta una guía para seleccionar el tipo adecuado.

tabla 1

Guía para selección de Morteros de Mampostería ASTM C-270			
Localización	Segmento Constructivo	Tipo de Mortero	
		Recomendado	Alternativo
Exterior , sobre el nivel del suelo	Muros de carga	N	S
	Muros de relleno	N	S
	Muros de protección	N	S
Exterior, bajo el y/o en el nivel del suelo	Muros de cimentación	S	M o N
	Muros de contención		
	Pozos, alcantarillas		
	Pavimentos, aceras y patios		
Interior	Muros de carga	N	S o M
	Muros de relleno	O	N

Basados en la Guía anterior , se seleccionó el **Tipo S para el Ligante de Albañilería**, el cual se adapta mejor a los segmentos constructivos que más se utilizan en Guatemala, y por ser el recomendado para zonas sísmicas.

Los requerimientos físicos de las normas ASTM C-91, C-1328, C-1329 , para el cemento de mampostería Tipo S , son los siguientes:

tabla 2

REQUERIMIENTOS FÍSICOS	Cemento de Mampostería Tipo S		
	C-91	C-1328	C-1329
Fineza que pasa tamiz 325, mínimo, %	76	76	76
Expansión Autoclave, máximo, %	1.00	1.0	1.0
Fraguado Inicial, minutos, no menos de	90	90	90
Fraguado Final, minutos, no más de	1440	1440	1440
Resistencia a compresión, mínimo, 7 días, N/mm ² (psi)	9.0(1300)	9.0(1300)	9.0(1300)
Resistencia a compresión, mínimo, 28 días, N/mm ² (psi)	14.5(2100)	14.5(2100)	14.5(2100)
Contenido de aire de mortero, mínimo, volumen, % (a)	8	8	8
Contenido de aire de mortero, máximo, volumen, % (a)	19	20	14
Retención de agua, mínimo, %	70	70	70
Adherencia por flexión, mínimo, 28 días, N/mm ² (psi) (b)	---	---	0.7(100)

(a) Para Guatemala no es válida la aplicación de estos porcentajes, por no haber condiciones de congelamiento y deshielo.

(b) No se efectuó este ensayo por no contar con el equipo del caso.

B. MATERIALES ESCOGIDOS PARA LA FABRICACIÓN DEL LIGANTE DE ALBAÑILERÍA

Se escogieron cuatro materiales para la fabricación del Ligante de albañilería, que luego se mezclarán en distintos porcentajes, hasta alcanzar los óptimos, los materiales son los siguientes :

- 1) **Cemento Tipo I : 96% Clinker + 4% Yeso**
- 2) **Toba**
- 3) **Caliza (carbonato de calcio)**
- 4) **Cal Hidratada**

Se tomaron muestras de los materiales en su estado natural, en la planta La Pedrera, de Cementos Progreso, para saber el grado de calidad se hizo un análisis químico a cada material.

Debido a que el clinker y el yeso se molieron conjuntamente para formar un cemento tipo I , solamente se le hizo análisis químico al mismo.

tabla 3

Análisis Químico Cemento Tipo I	
COMPOSICIÓN	
SiO ₂	20.30
Al ₂ O ₃	4.84
Fe ₂ O ₃	3.40
CaO	61.92
MgO	3.08
K ₂ O	
SO ₃	2.08
PF	4.29
Total	100.60

tabla 4

Análisis Químico	Caliza
COMPOSICIÓN	
SiO ₂	1.52
Al ₂ O ₃	0.43
Fe ₂ O ₃	0.24
CaO	52.00
MgO	2.70
K ₂ O	
SO ₃	
PF	42.68
Total	99.58

tabla 5

Análisis Químico	Toba Volcánica
COMPOSICIÓN	
SiO ₂	63.24
Al ₂ O ₃	15.17
Fe ₂ O ₃	5.74
CaO	4.19
MgO	2.73
K ₂ O	
SO ₃	
PF	7.20
Total	98.27

C. MEZCLAS PROPUESTAS PARA EVALUACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO

Para iniciar el trabajo se propusieron 12 mezclas, las cuales serán depuradas al depender de los resultados en los ensayos, hasta llegar a las mezclas que sean más eficientes y que mejor cumplan con las normas.

Las mezclas para la evaluación inicial fueron las siguientes:

tabla 6

Mezcla	% Clinker	% Yeso	% Caliza	% Toba V.	% Cal Hidratada
M1	67.2	2.8	30	0	0
M2	67.2	2.8	0	30	0
M3	57.6	2.4	30	0	10
M4	57.6	2.4	40	0	0
M5	57.6	2.4	20	20	0
M6	57.6	2.4	0	25	15
M7	57.6	2.4	0	20	20
M8	57.6	2.4	0	15	25
M9	48.0	2.0	50	0	0
M10	48.0	2.0	0	50	0
M11	48.0	2.0	30	20	0
M12	48.0	2.0	40	10	0

VIII. MARCO EXPERIMENTAL

A. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales fueron obtenidos de la planta de Cementos Progreso, La Pedrera ubicada en la zona 6 de la ciudad de Guatemala, se realizaron muestras de cada material en su estado natural, para luego proceder a su molienda.

Molienda de Clinker + Yeso

Para preparar el cemento tipo I, se utilizó un molino de bolas que funciona semejante a un molino industrial, aunque el modelo del mismo no es de un molino piloto experimental, porque no cuenta con circuito cerrado ni separador de partículas. A continuación se presentan datos del molino:

LARGO :	50"
DIAMETRO:	30"
MOTOR:	Westinghouse
H.P.:	7.5
AMPERAJE:	18.8
R.P.M.:	284

La distribución de bolas de acero que se utilizó para este molino, se hizo con base en la distribución de un molino industrial.

Esta distribución de bolas se divide en dos: **Molienda Gruesa y Molienda Fina.**

La distribución de bolas para molienda gruesa	
diámetro de 2 ½ plg a 3 ½ plg	30%
La distribución de bolas para molienda fina	
diámetro de 3/8 plg a 2 plg.....	70%
Total.....	100%

Para calcular el peso total de bolas de acero se utilizó la relación siguiente:

Peso total de bolas de acero = 8 veces el peso de material a moler

Peso de material a moler.....	50 KG
Peso total de bolas de acero.....	400 KG

Se colocaron los 400 kg de bola de acero , con la distribución mencionada y se hicieron pruebas preliminares con el fin de optimizar el molino, las cuales nos llevaron al resultado siguiente:

PESO DE MUESTRA: 48 kg de Clinker
2 kg de Yeso (4%)
TIEMPO DE MOLIENDA: 2 Horas
FINEZA TAMIZ 325: 70 %

Después de este resultado preliminar, se decidió ajustar la distribución de bolas de acero. El ajuste comprendió en eliminar el porcentaje de bola de acero para molienda gruesa, y dejar solo el porcentaje para molienda fina, debido a que la **norma ASTM C-91 requiere una fineza que pasa tamiz 325 de al menos 76%**, y además para la presente investigación se pretendía alcanzar una **fineza que pase tamiz 325 de al menos 85%**.

Así el molino quedó con la siguiente distribución de bola de acero:

tabla 7

Diámetro mm(plg)	%	PESO Kg
50(2)	13	52.00
44(1 ¾)	0	0.00
38(1 ½)	11	44.00
32(1 ¼)	18	72.00
25(1)	26	104.00
22(7/8)	0	0.00
19(¾)	5	20.00
16(5/8)	27	108.00
12.5(½)	0	0.00
9(3/8)	0	0.00
TOTAL	100	400.00

El tiempo de molienda para 50 kg de clinker y yeso, para alcanzar la fineza de 85% tamiz 325 fue de **90 minutos**.

Para evitar que las bolas de acero se cubrieran con una delgada capa del material que molía amortiguaba así el choque entre bolas, se usó **25 ml de Dietilenglicol + 25 ml de agua** . Este aditivo se agregó antes de empezar la molienda, inmediatamente después

de colocar el clinker y yeso. El Dietilenglicol se usa en los molinos industriales para hacer más eficiente la molienda, la relación para la dosificación de este aditivo en los molinos industriales es de : **400 ml Dietilenglicol/ Tonelada métrica**, relación que sirvió de base para la dosificación del aditivo para este estudio.

Molienda de Caliza y Toba Volcánica

La caliza y la toba volcánica se molieron en un pequeño molino de disco, o pulverizadora, los datos de este molino son los siguientes:

MARCA:	BICO
TIPO:	U A
MOTOR:	LEESON
RPM:	1740
HZ:	60
Hp:	2
VOLTAJE:	208

La capacidad de molienda del molino para los dos materiales fue de 200 gramos cada 15 minutos, los 200 gramos se colocaban en porciones de 10 gramos los cuales se molían en aproximadamente 20 segundos.

La fineza que se quería alcanzar era de 85% que pasa tamiz 325, la cual fue muy difícil lograrla en esta pulverizadora, debido a que sólo tiene un tornillo de graduación el cual es Macrométrico, y es por ello que los valores de fineza de la caliza y la toba volcánica tienen una pequeña variación.

B. ENSAYO DE LOS MATERIALES

A los materiales caliza, toba volcánica y clinker se les hicieron los siguientes ensayos físicos:

Fineza Tamiz 325

Este ensayo determina el porcentaje de lo que pasa en el tamiz 325 , de conformidad con el método ASTM C-187.

La fineza 325, es la separación mecánica de tamaño de partículas de un material, mediante el uso del tamiz 325; los resultados se presentan como la diferencia entre la cantidad inicial y la cantidad que queda retenida en el tamiz por un factor de calibración, expresado en porcentaje.

Peso Específico

Este método determina la densidad de un material de conformidad con la norma ASTM C-188, esta densidad es definida como la masa por unidad de volumen de sólidos. Se expresa en gramos/ centímetro cúbico.

Se coloca Kerosene dentro de una botella de Le Chatelier se deja estabilizar y se toma la medida inicial, luego se introduce el material se deja estabilizar de nuevo y se toma la lectura final, donde la densidad se calcula así:

$$D = \text{peso gramos del material} / \text{lectura final} - \text{lectura inicial}$$

Tabla 8

Ensayos Físicos a Materiales			
	Caliza	Toba V.	Clinker
Fineza Tamiz 325 %	89.87	84.85	87.09
Peso Específico, g/cm ³	2.71	2.53	3.04

C. PREPARACIÓN DE MEZCLAS A EVALUAR Y ENSAYOS PRELIMINARES

Al conocer la fineza y la densidad de los materiales, se pasó a preparar las mezclas propuestas, y el primer paso es la homogenización de los materiales en sus respectivos porcentajes, las mezclas se homogenizaron por un tiempo de 15 minutos en una homogenizadora con los datos siguientes:

CAPACIDAD:	5 GALONES
MOTOR:	DAYTON
MODELO:	3K771
Hp:	1/4
VOLTAJE:	115
AMPERAJE:	53

Ensayos Preliminares

A las mezclas propuestas se les aplicaron 2 ensayos: **Retención de Agua y Resistencia a Compresión**, como parámetros iniciales más importantes, para luego basados en estos seguir los demás ensayos sólo con las mezclas más eficientes.

Retención de Agua

Este ensayo determina la cantidad de agua que puede retener un mortero, el método utilizado es el de la norma ASTM C-91.

Resistencia A Compresión

El procedimiento empleado para la elaboración del ensayo de resistencia a compresión, es el descrito en la norma ASTM C-109, al usar el procedimiento para almacenamiento el método de la norma ASTM C-91. Los resultados presentados son a 7 y 28 días.

Preparación del mortero

El mortero debe contener 1620g de arena, de los cuales 810g son de arena Standard y 810 g son de arena 20-30.

La cantidad de agua, medida en mililitros debe ser tal para producir un Flujo de 110+5 determinado por el método ASTM C-109. El peso de la muestra de cemento se calculó basados en la norma ASTM C-91, donde el punto 17 describe: "que la masa de

cemento, en gramos, debe ser de 15 veces el peso neto en kilogramos impreso en el saco de cemento".

Actualmente no se cuenta con el peso del saco del ligante de albañilería porque no ha empezado su proceso de producción, y en la norma ASTM C-91 no describe un método para obtener el peso de 1 pie cúbico de cemento, volumen que recomienda la norma debe tener un saco del mismo.

La masa unitaria suelta es un criterio válido para evaluar el proporcionamiento por volumen de los morteros con cemento o ligante de albañilería.

En México y Costa Rica donde se venden estos tipos de ligante en sacos de 50kg se recomiendan proporciones por volumen suelto de materiales: 1 ligante : 3 de arena, por lo que se tomó la decisión de evaluar la primera serie de mezclas sobre esta base.

Por lo anterior se obtuvo el peso de 1 litro de masa suelta de cada muestra, luego se calculó el peso de la muestra para el ensayo de la siguiente forma:

$$\text{Peso muestra g} = 15 \times (\text{peso de litro cemento} \times 28 \text{ litros})$$

Los resultados preliminares se presentan a continuación:

Ensayos Preliminares a Muestras Propuestas

tabla 9

Muestra	Peso 1 litro, g	Peso de muestra, g	Retención de Agua %	Resistencia 7 días, psi	Resistencia 28 días, psi
M1A	852.14	357.90	67.17	1656	1740
M2A	927.14	389.40	56.75	1903	2806
M3A	845.71	355.20	62.60	---	---
M4A	927.14	389.40	64.00	1592.50	1865.42
M5A	949.64	398.85	53.80	1529	1720.83
M6A	854.29	358.80	68.37	---	---
M7A	817.86	343.50	68.40	1013.75	1294
M8A	769.64	323.25	73.60	854.58	1093
M9A	883.93	371.25	69.07	1144	1343
M10A	948.21	398.25	48.80	1010	1430.40
M11A	905.71	380.40	69.94	1242	1482.92
M12A	880.00	369.60	63.04	1070	1088.75

D. ENSAYOS A MEZCLAS FINALES SIN ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE

Con los resultados preliminares se escogieron las mezclas finales, basados en los siguientes criterios:

- a) Se descartaron las muestras con un porcentaje de clinker mayor del 50%, debido al factor económico, un porcentaje alto de clinker incrementaría el costo del cemento, porque el mismo es el material de más alto costo por su proceso de fabricación.
- b) Se descartó el uso de la Cal Hidratada, puesto que se necesita un alto porcentaje de la misma para proveer trabajo, fluidez y retención de agua al cemento, y este alto porcentaje influye en el descenso de la resistencia a compresión.

Con los criterios mencionados se escogieron las mezclas finales, las cuales son :

M9A, M10A, M11A y M12A

Preparación del mortero

El contenido de arena del mortero fue de 1620 gramos de arena, de los cuales 810 gramos son de arena Standard y 810 gramos de arena 20-30.

La cantidad de agua, medida en mililitros debe ser tal para producir un Flujo de 110+-5 determinado por el método ASTM C-109.

Investigación del uso de cementos de mampostería en los EEUU, señaló que allí es común el empleo de bolsas de 70, 75 y 80 lb para cementos de albañilería tipos N, S y M; equivalentes a bolsas de 32, 34 y 36 kg respectivamente.

Debido a que tomar un saco de 34 kg como un pie cúbico para cemento tipo S, es una medida más conservadora y segura, y similar a la empleada con los cementos hidráulicos, en que 1 saco de 42.5 kg se toma como 1 pie cúbico, se decidió adoptar este criterio, y tomar para la serie de ensayos a las mezclas finales, como medida de 1 pie cúbico de ligante de mampostería tipo S la masa de 34 kg.

Para los ensayos finales, el peso de la muestra de cemento se calculó al usar una relación de 1:3 con respecto a la arena . Se tomó el peso standard para un saco de cemento de mampostería tipo S de 34 kg, según Nota 4 de la norma ASTM C-91, por lo cual el cálculo del peso de la muestra de cemento se calculó así:

**Peso de cemento g = 15 x 34kg(peso de 1 pie cúbico de cemento tipo S,
ó peso de 1 saco)**

1. Resistencia a compresión

El procedimiento para este ensayo está descrito en el método ASTM C-109, se prepara el mortero con un flow de 110 +-5, y se hacen 6 cubos en moldes de 2 pulgadas de lado, los cuales se ensayan 3 cubos a 7 días y 3 a 28 días.

2. Retención de agua

Determina la cantidad de agua que pueda retener un mortero, el método se describe en la norma ASTM C-91.

3. Tiempo de fraguado

Este es determinado por las agujas de Gillmore, método descrito en la Norma C-266. Este método de ensayo cubre la determinación del tiempo de fraguado de un pasta de consistencia normal de cemento por medio de penetración de las agujas, de fraguado (inicial y final).

4. Consistencia Normal

Esta se determinó por el aparato VICAT de acuerdo a la prueba del método C-430. Este método determina la consistencia normal de un cemento, la norma tiene como objetivo establecer la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta de consistencia normal de cemento.

5. Contenido de aire

La norma C-91 determina el método para encontrar el contenido de aire de un mortero. Este se consigue con el peso del mortero en 400 mililitros, con la densidad del cemento, la cantidad de agua utilizada para formar el mortero, la densidad y el peso de la arena.

6. Expansión Autoclave

Este ensayo se realizó de acuerdo con lo descrito en la norma ASTM C-151, con la diferencia que después de moldear la barra, se almacena 48 horas +- 30 minutos, para luego remover los moldes y efectuar el ensayo.

7. Fineza tamiz 325

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM C-430, el cual determina la fineza del cemento por medio del tamiz de 45 micrones ó 325.

E. RESULTADOS DE MEZCLAS FINALES SIN ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE

Los primeros ensayos que se aplicaron a las mezclas finales fueron : **Retención de agua y Resistencia a la compresión**, dando los siguientes resultados:

tabla 10

	M9A	M10A	M11A	M12A
Clinker, %	48	48	48	48
Yeso, %	2	2	2	2
Caliza, %	50	0	30	40
Toba Volcánica, %	0	50	20	10
Peso de muestra, g	510	510	510	510
Relación arena/cemento	3.18 : 1	3.18 : 1	3.18 : 1	3.18 : 1
Gramos/400 ml	875.6	861.7	873.1	871.3
Agua , ml	255	260	255	255
Flujo Inicial	112	107.8	108.8	110
Flujo Final	77.5	72.9	63.5	69
Retención de agua, %	69.19	67.63	58.36	62.73
Resistencia 7 días, psi	2178.75	1720	2405.42	2225
Resistencia 28 días, psi	2542.50	2307	2767.50	2290

Los ensayos de Resistencia a compresión, para 7 días y 28 días, aplicados a las mezclas finales ,cumplen satisfactoriamente con los requisitos de la norma ASTM C-91 para este ensayo. No así con el ensayo de Retención de agua, el cual ninguna de las mezclas alcanza con el porcentaje mínimo requerido, que es de 70%.

Es por ello que se decidió usar un aditivo incorporador de aire, para aumentar la retención de agua y a su vez, la trabajabilidad, y cohesión.

F. ENSAYOS A MEZCLAS FINALES CON ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE

Descripción y Propiedades del Aditivo

El **Rheomix 71 PC** es un aditivo para morteros a base de sustancias orgánicas, en forma de polvo grisáceo, semejante a un cemento, especialmente manufacturado para su incorporación a los morteros producidos por técnicas de premezclado en seco.

La acción de este aditivo sobre los morteros, es puramente física al incluir en su masa un número controlado de burbujas de aire, y así favorecer la perfecta dispersión de las partículas de cemento, al proporcionar al mortero las siguientes ventajas:

- a) Plasticidad
- b) Impermeabilidad
- c) Resistencia
- d) Durabilidad

Dosificación

La dosificación varió para cada mezcla , los porcentajes utilizados son muy pequeños, debido a que las mezclas finales tienen una Retención de agua muy cerca del valor requerido por la norma ASTM C-91.

El aditivo se agregó a las mezclas en seco, antes de ser homogenizadas.

Al aditivo se le hicieron los ensayos de Fineza y Peso Específico , dando los siguientes resultados:

FINEZA TAMIZ 325:	98.30 %
PESO ESPECÍFICO:	2.45 g/cm ³
SUPERFICIE BLAINE:	4016 g/cm ²

Preparación de los morteros

El método para la preparación del mortero se hizo igual que para la sección VIII.D., con la adición del aditivo incorporador de aire.

Los resultados con la aplicación de este aditivo a las mezclas finales son los siguientes:

G. Resumen de Resultados Finales
Mezclas con aditivo incorporador de aire

ASTM C-91 tabla 11

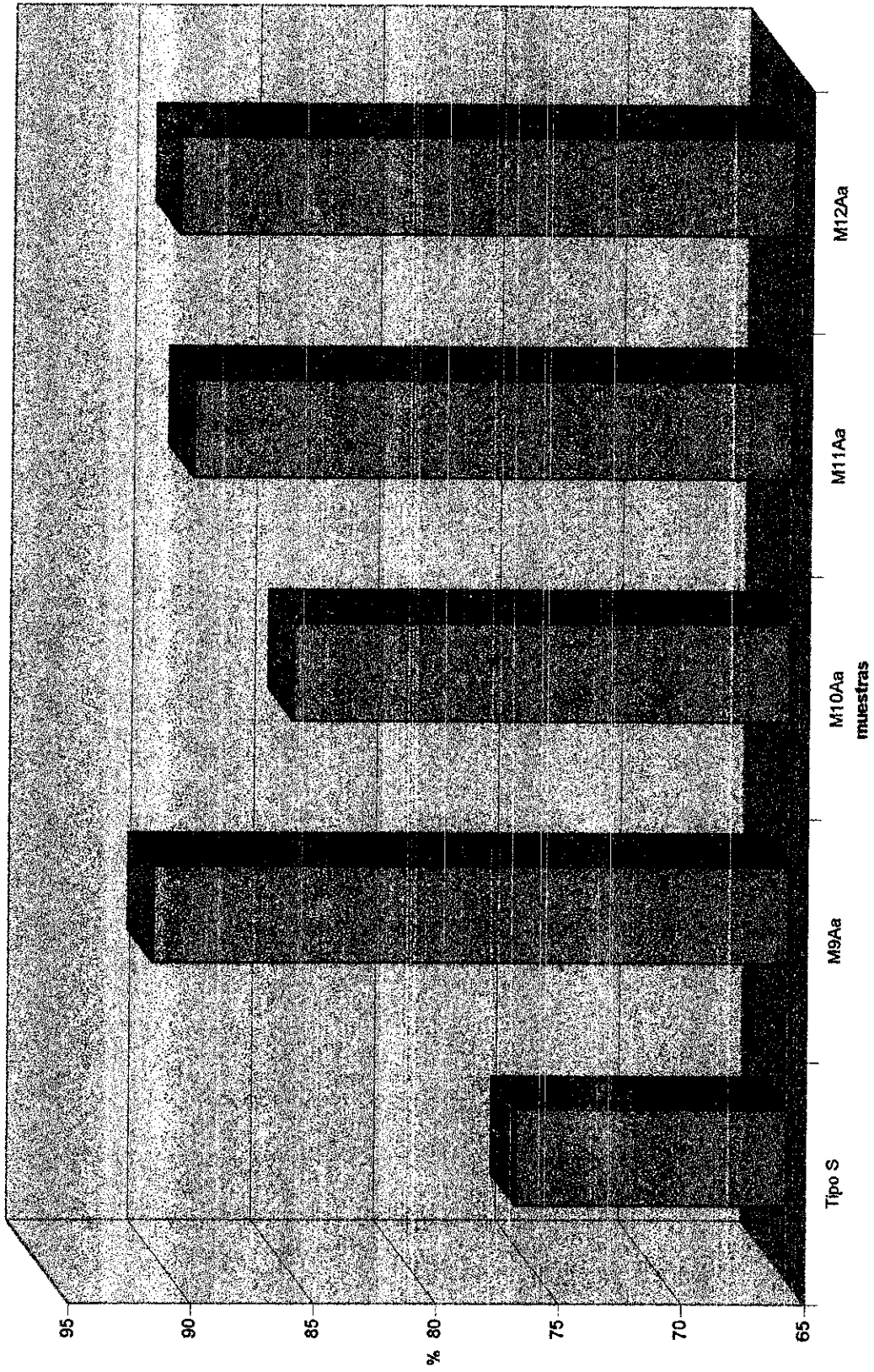
Requerimientos físicos (*)	Tipo S	M9Aa	M10Aa	M11Aa	M12Aa
Fineza tamiz 325, % min.	76	90.87	85.24	89.37	90
Expansión Autoclave , max	1	0.06	0.01	0.06	0.06
Fraguado Inicial Gillmore, minutos.	90	120	295	245	223
Fraguado Final Gillmore, minutos.	1440	325	425	375	345
Resistencia a Compresión psi, 7 dias min.	1300	1865.42	1715.42	1843.75	1866.67
Resistencia a Compresión psi, 28 dias min.	2100	2312	2374	2417	2475
Contenido de aire de mortero, %	Min 8- Max 19	9.59	11.78	8.89	8.76
Retención de agua, % mínimo	70	75.73	73.48	76.92	72.78

(*) El detalle de las dosificaciones y resultados de las mediciones y ensayos efectuados para las mezclas finales se puede ver en las fichas de resultados sección VIII.i

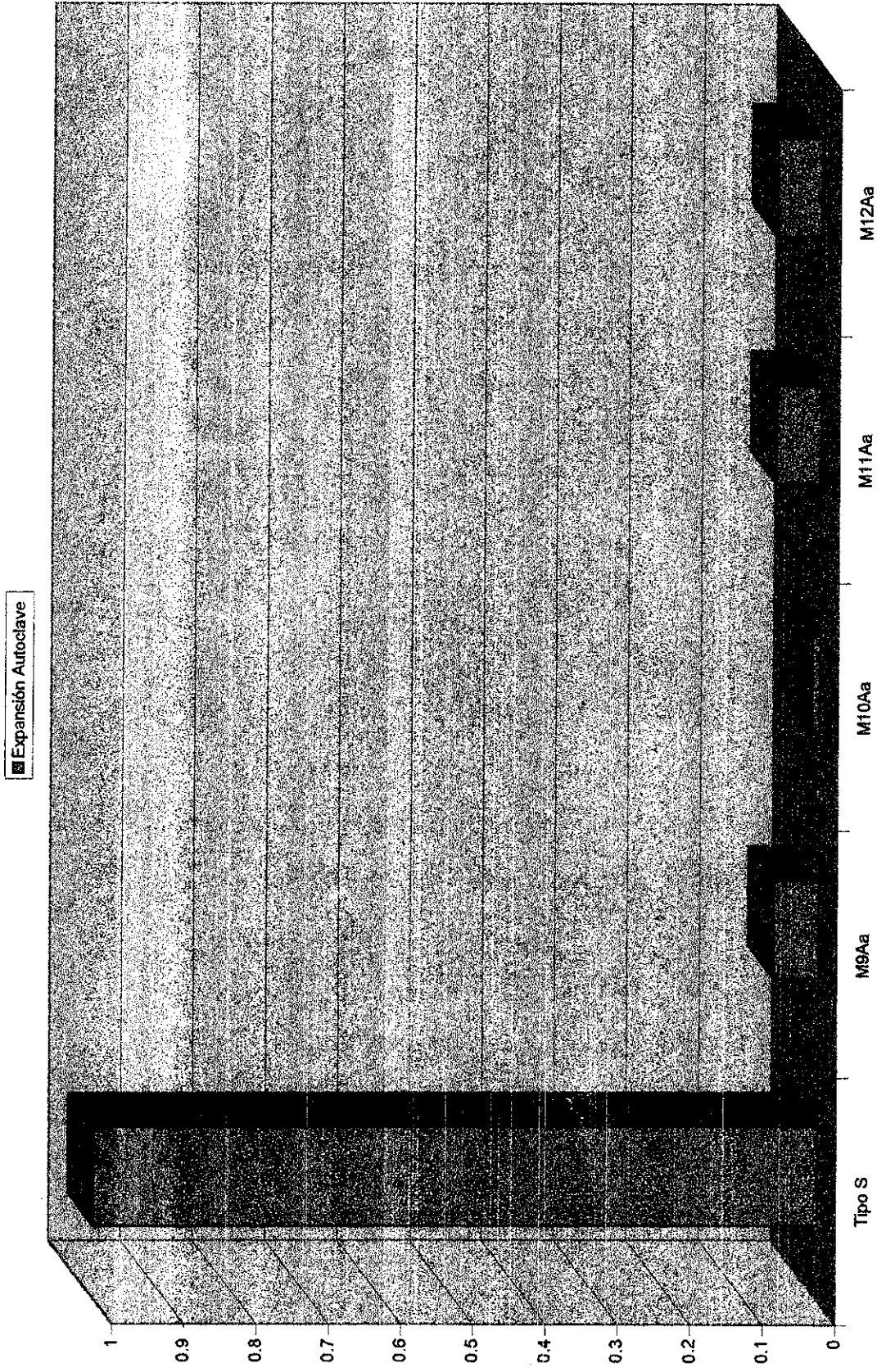
A continuación se presenta una serie de gráficas comparativas de la variación de los diferentes requerimientos físicos entre las mezclas finales del presente cuadro:

Gráfica 1

Fineza tamiz 325, % min.

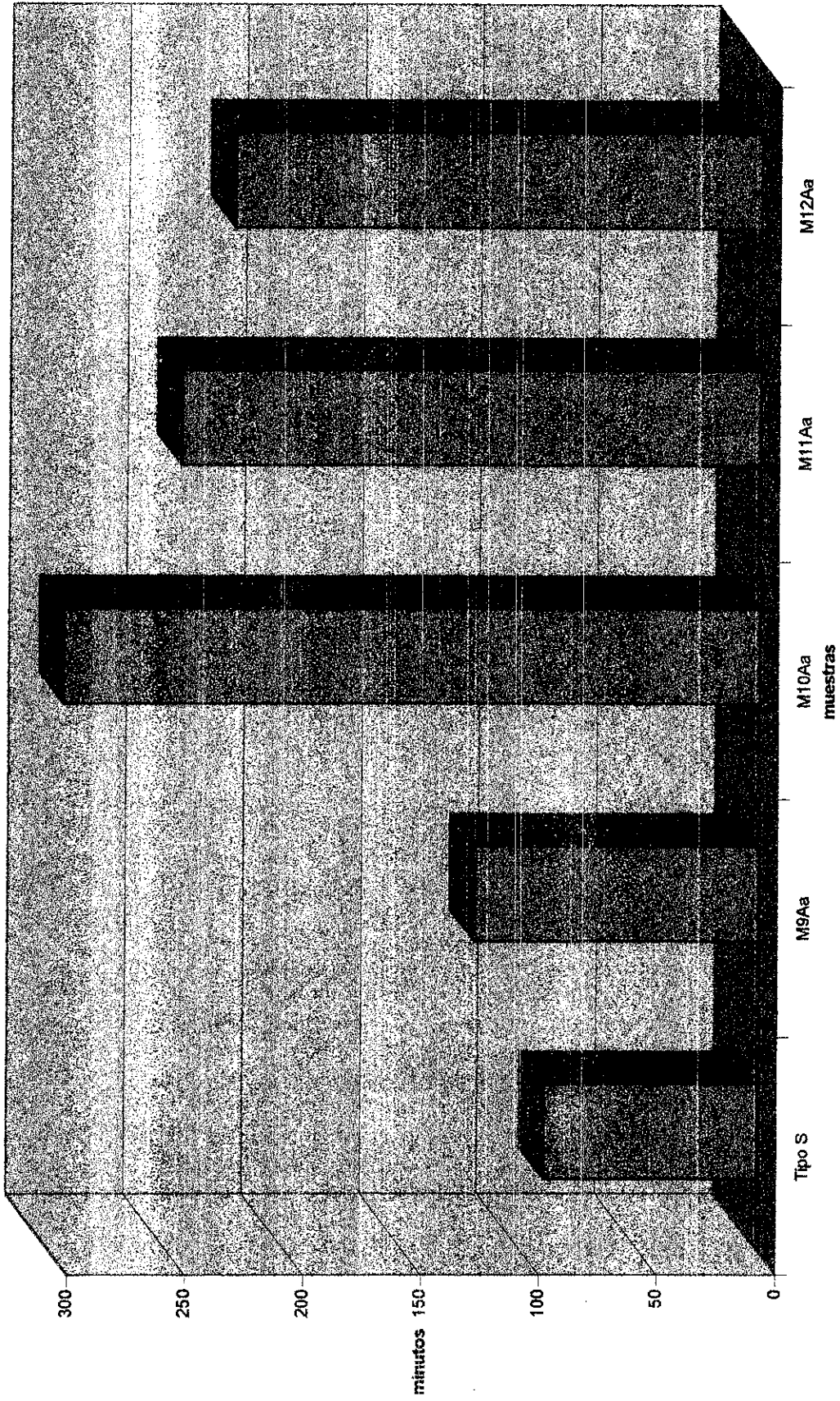


Gráfica 2



Gráfica 3

■ Fraguado Inicial Gilmore, minutos.



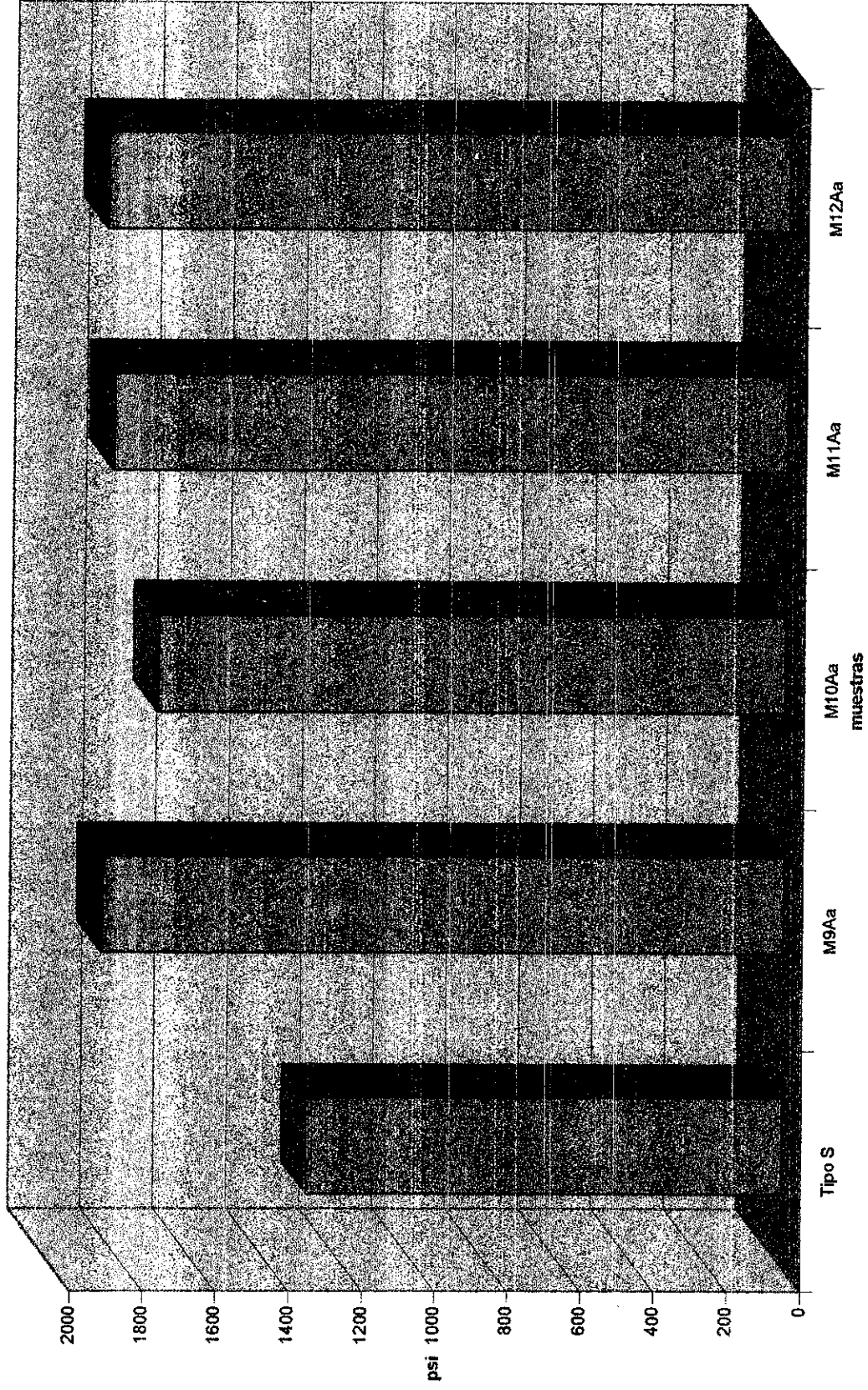
Gráfica 4

■ Fraguado Final Gilmore, minutos.



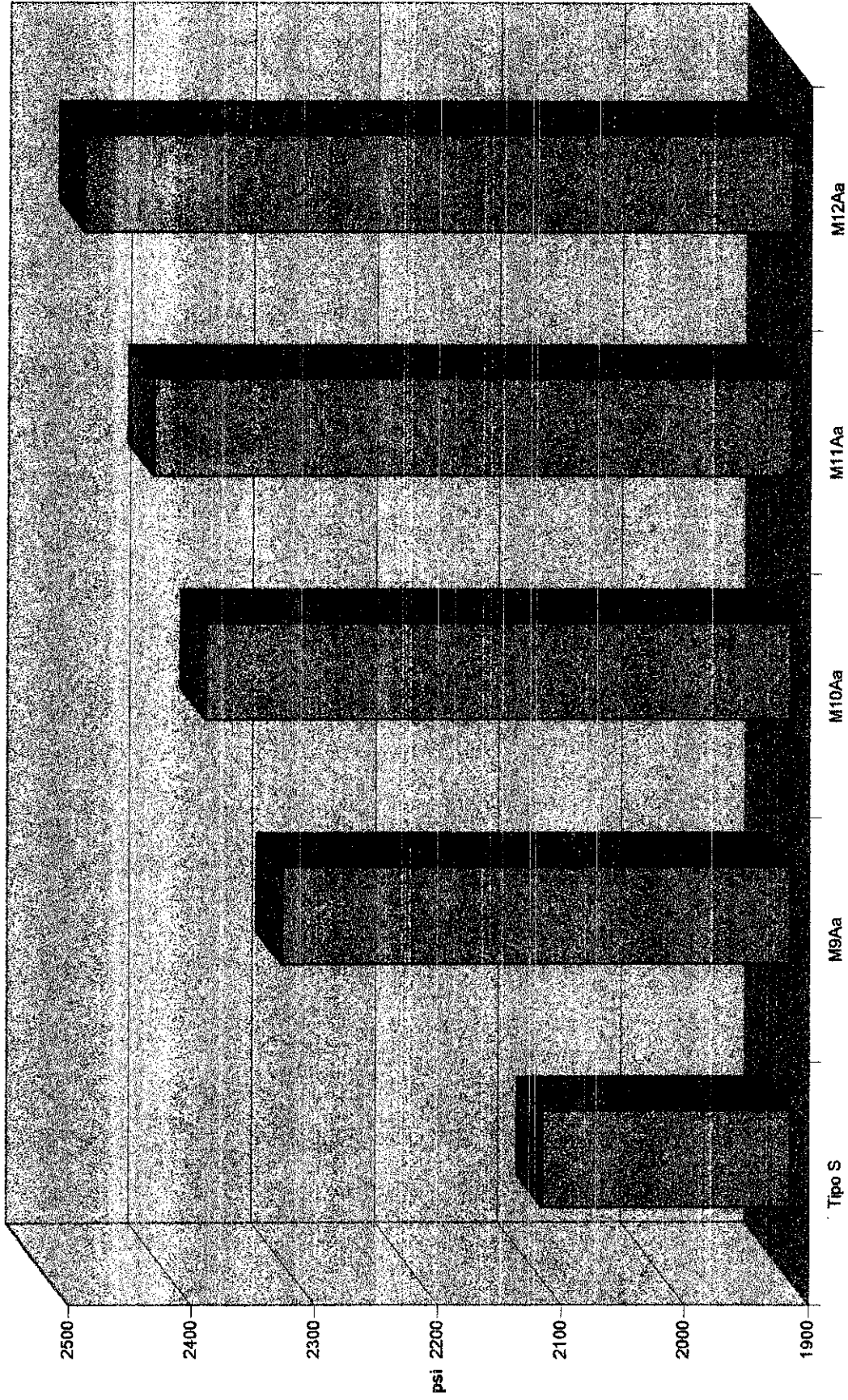
Gráfica 5

Resistencia a Compresión psi, 7 días mín.

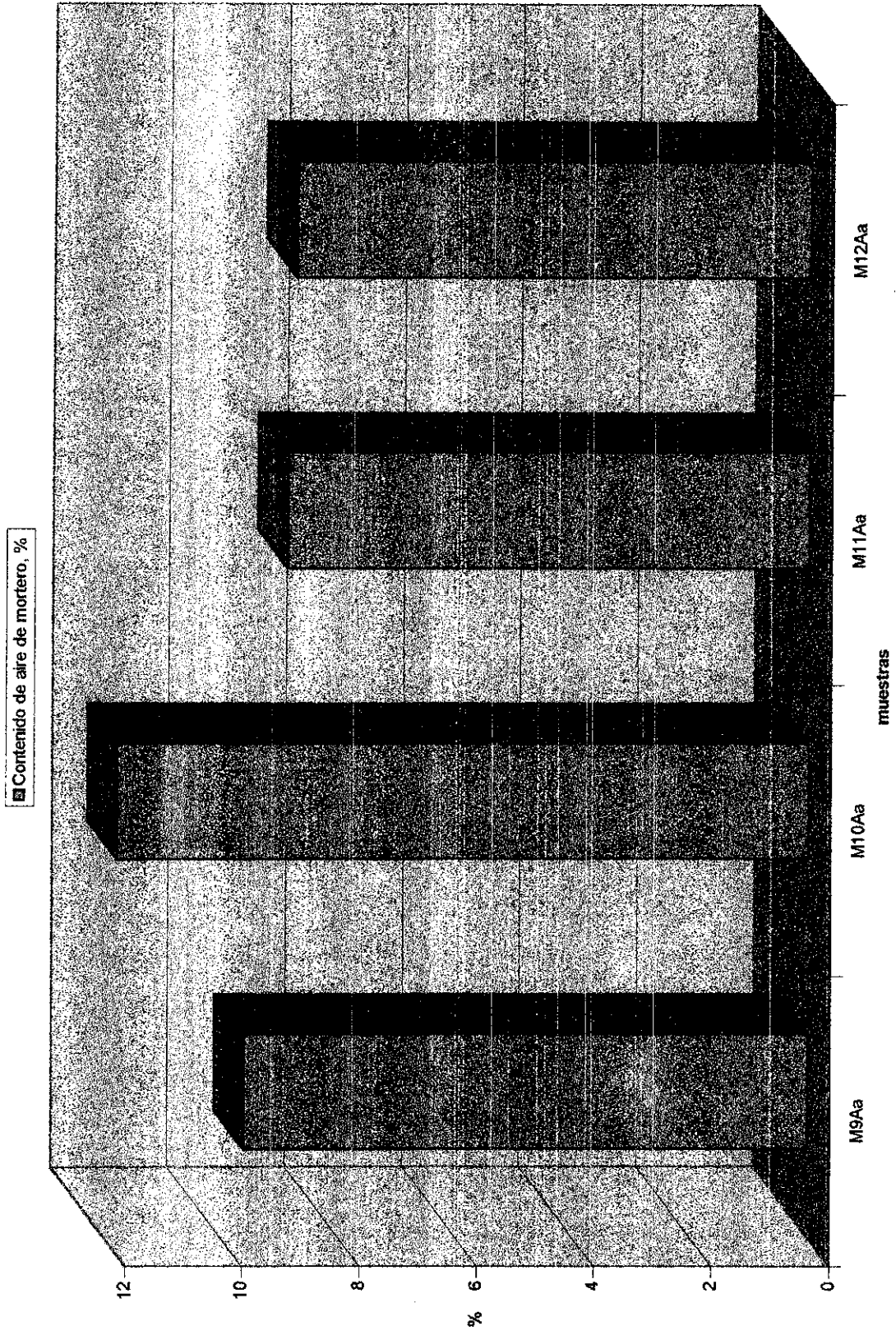


Gráfica 6

■ Resistencia a Compresión psi, 28 días min.

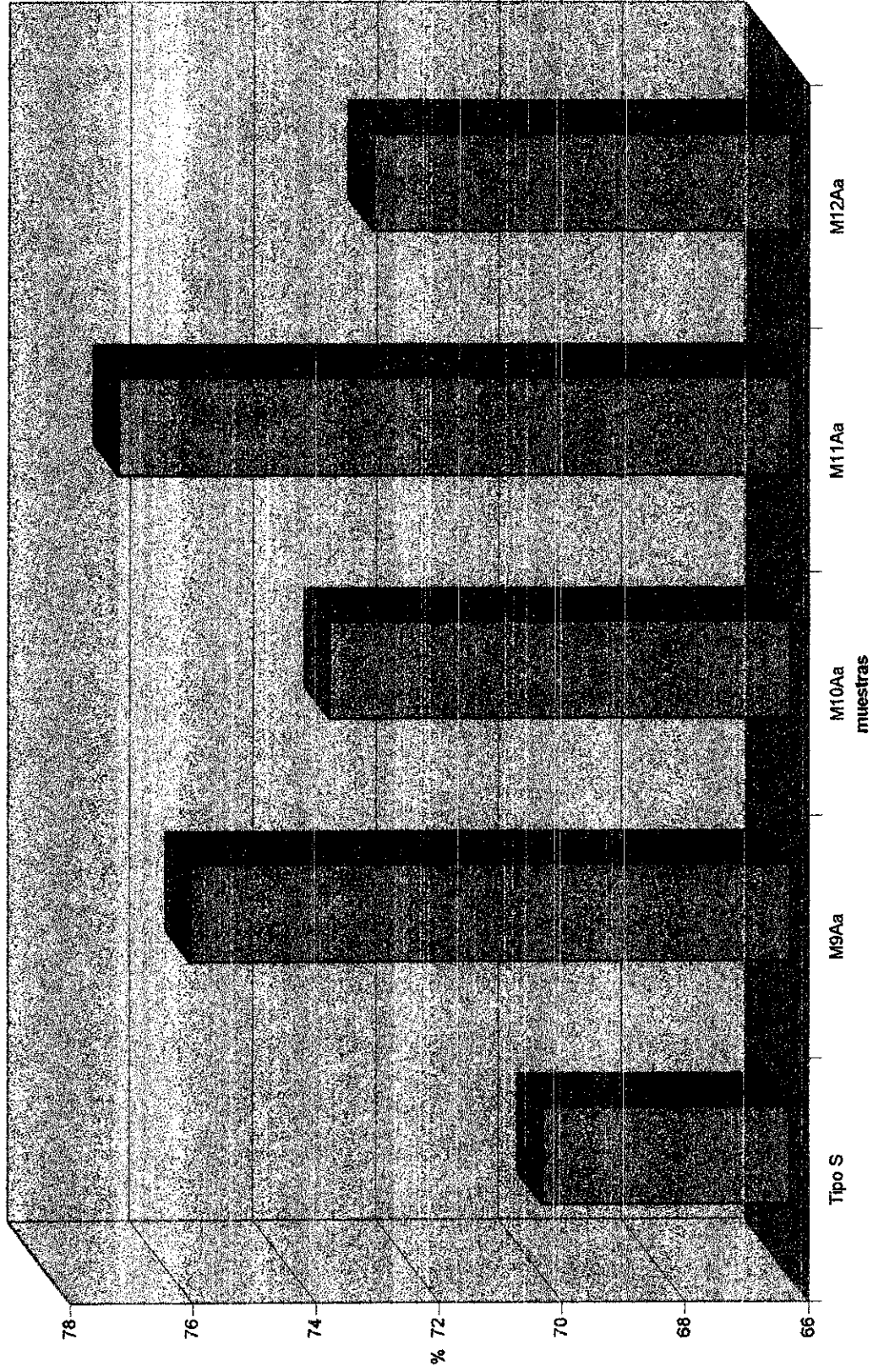


Gráfica 7



Gráfica 8

■ Retención de agua, % mínimo



H. Comparación de resultados de mezclas con aditivo
y sin aditivo incorporador de aire

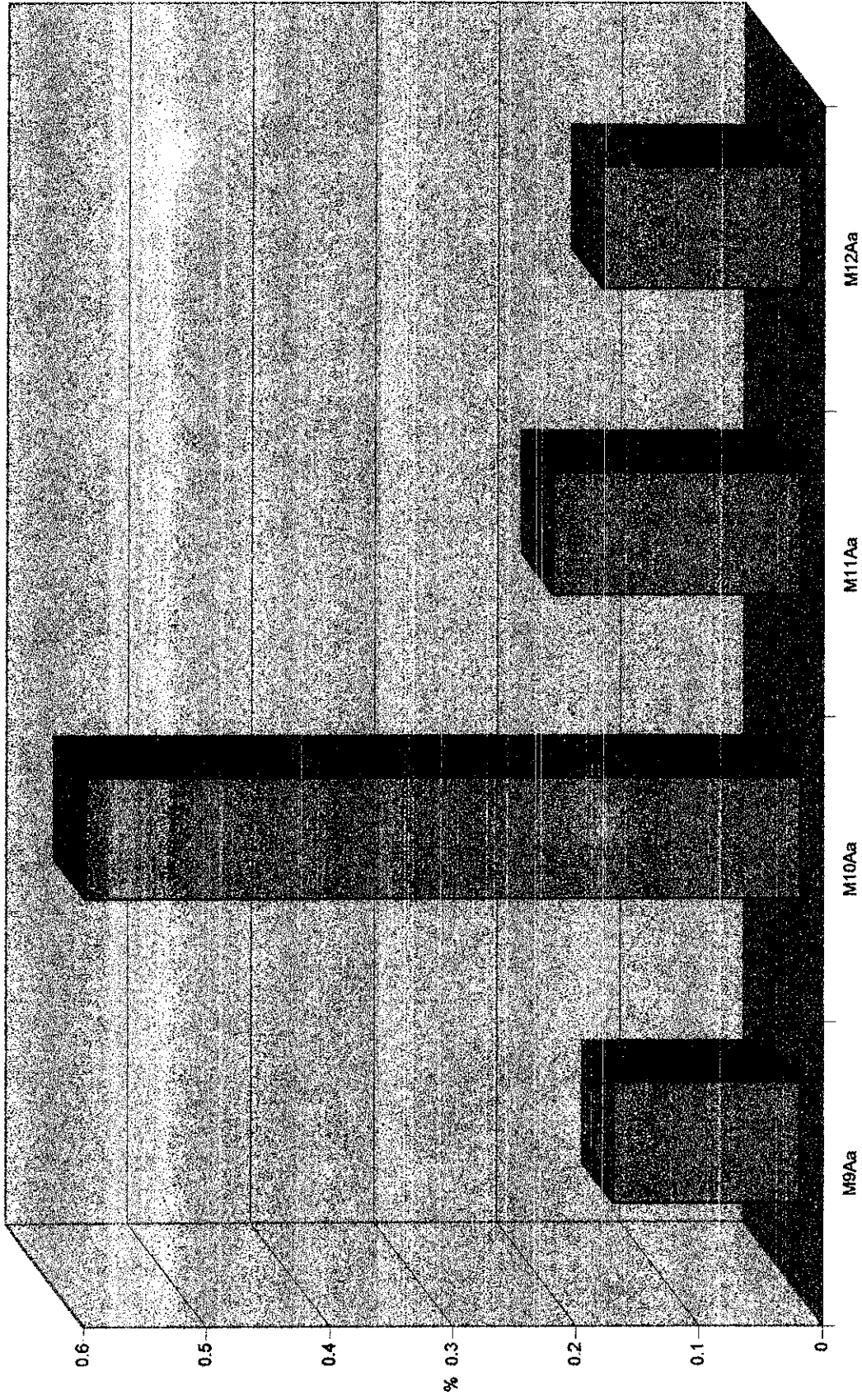
tabla 12

No.	% aditivo	Flow	agua, ml	Retención de agua, %	Resistencia 7 días, psi	Resistencia 28 días, psi
M9A	0	112	255	69.2	2178.75	2542.5
M10A	0	107.8	260	67.63	1720	2307
M11A	0	108.8	255	58.36	2405.42	2767.5
M12A	0	110	255	62.73	2225	2290
M9Aa	0.15	109.6	243	75.73	1865.42	2312
M10Aa	0.58	108.2	240	73.48	1715.42	2374
M11Aa	0.2	110.5	245	76.92	1843.75	2417
M12Aa	0.16	106.9	243	72.78	1866.67	2475

A continuación se presenta una serie de gráficas comparativas de los resultados de los ensayos presentados en el cuadro anterior, de las mezclas con y sin aditivo incorporador de aire:

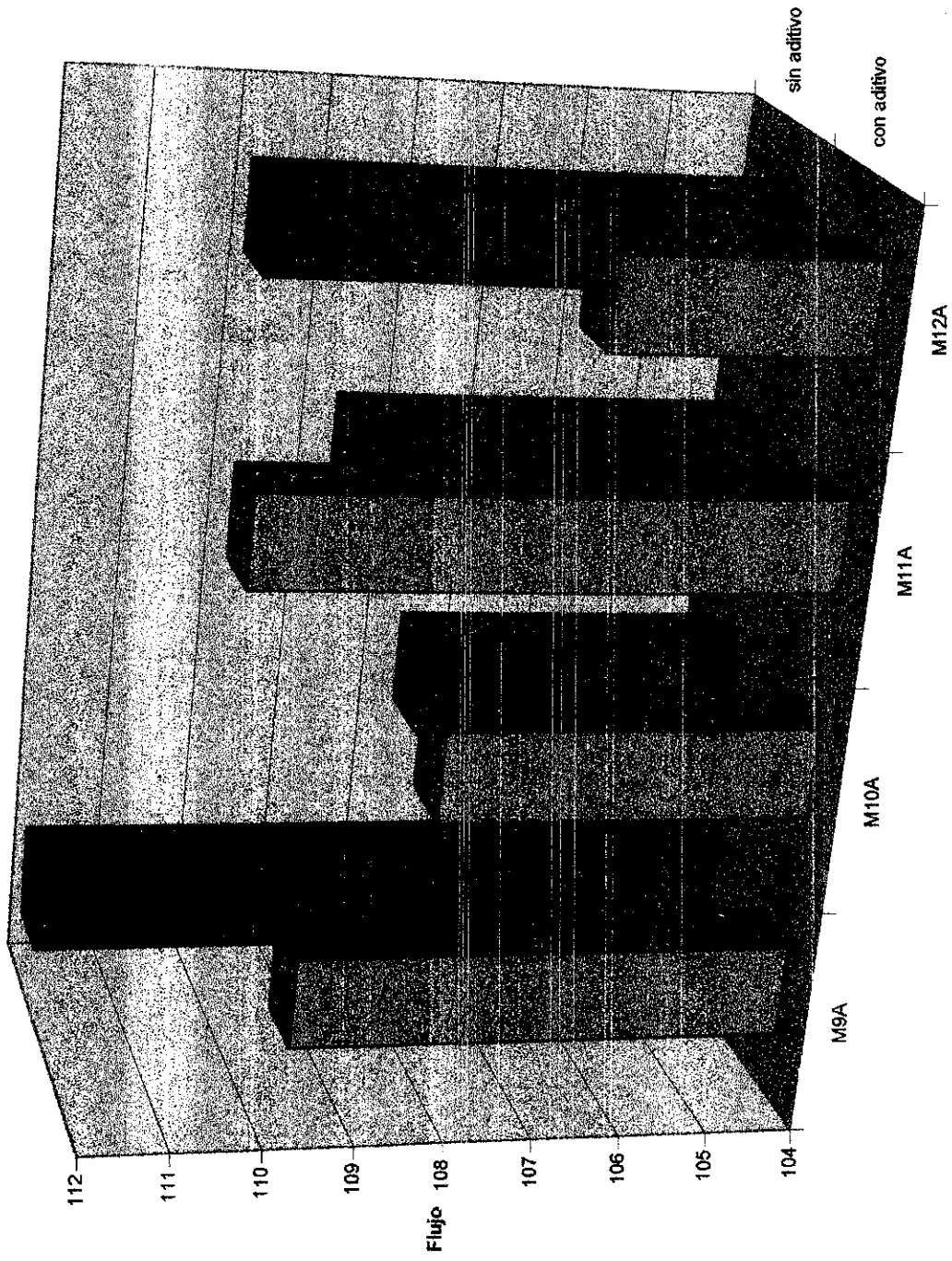
Gráfica 9

■ % de acitvo

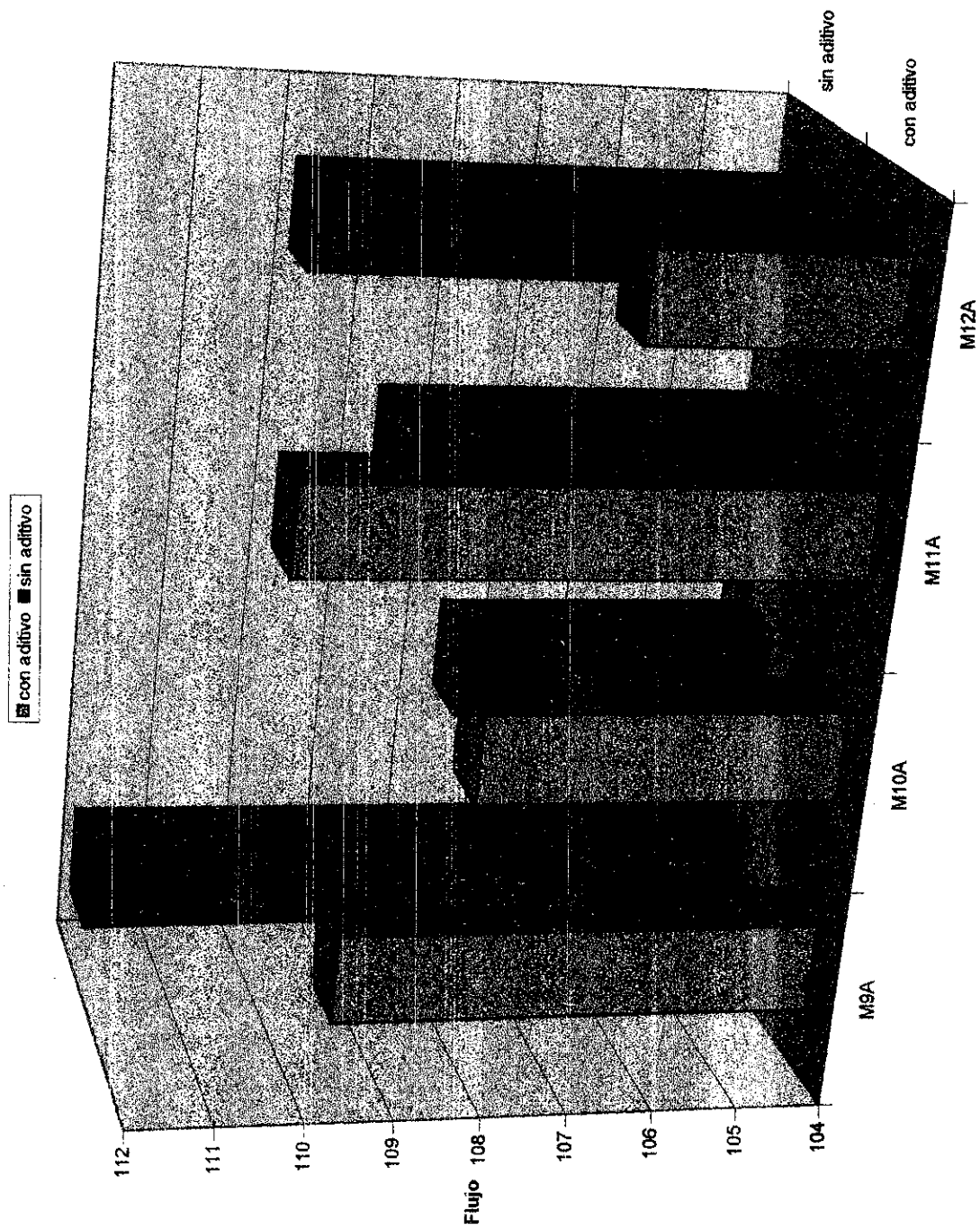


Gráfica 10

■ con aditivo ■ sin aditivo

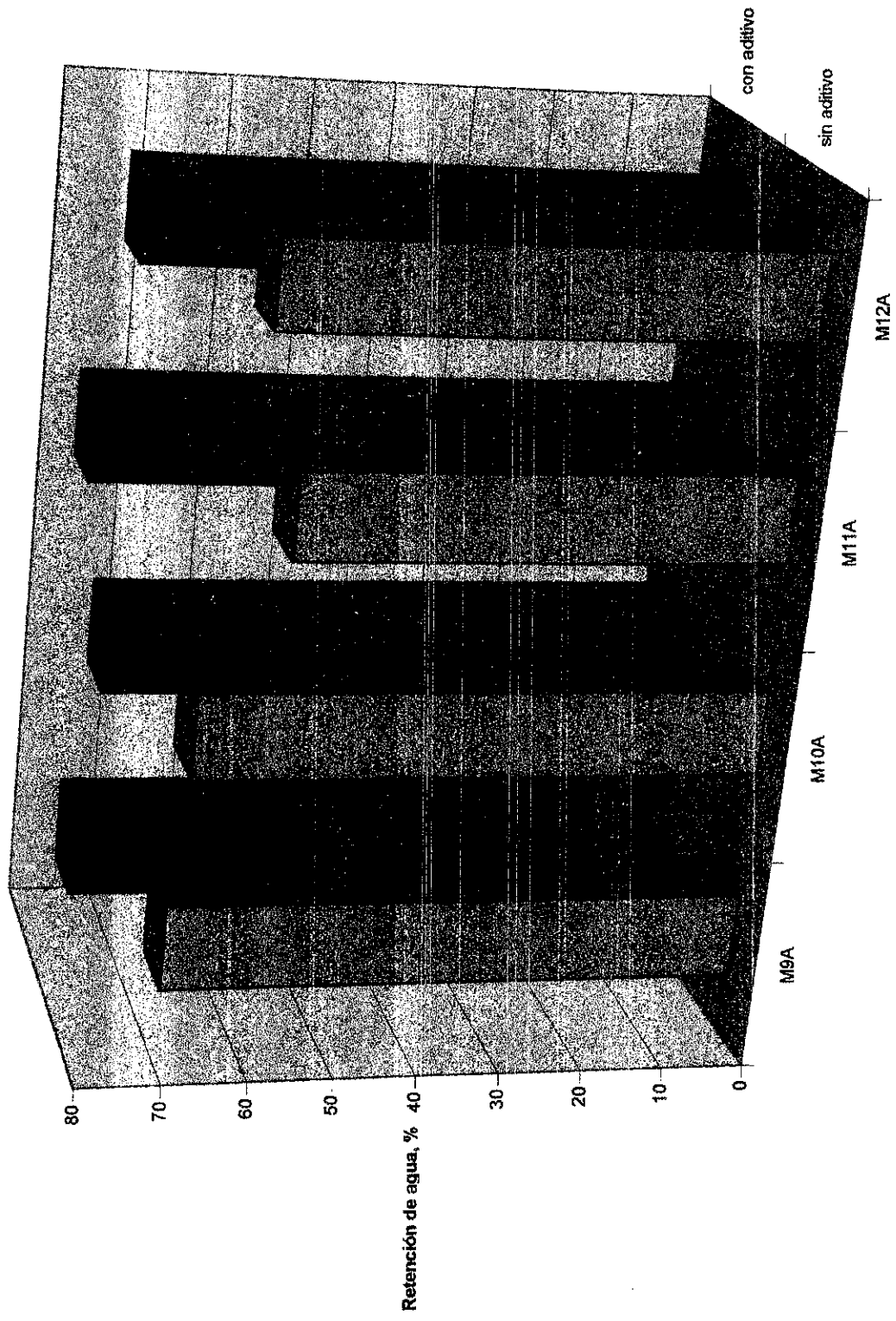


Gráfica 10

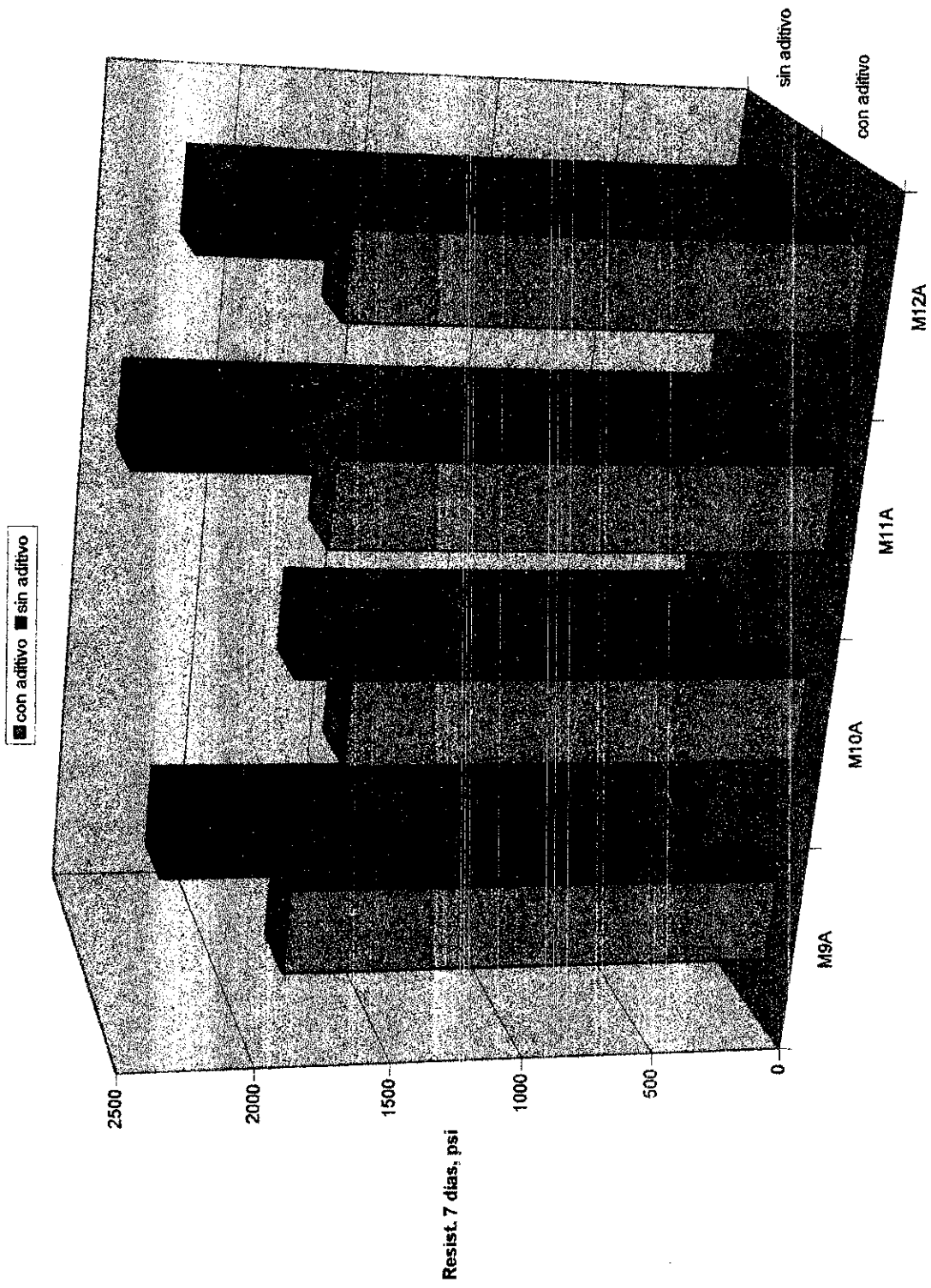


Gráfica 12

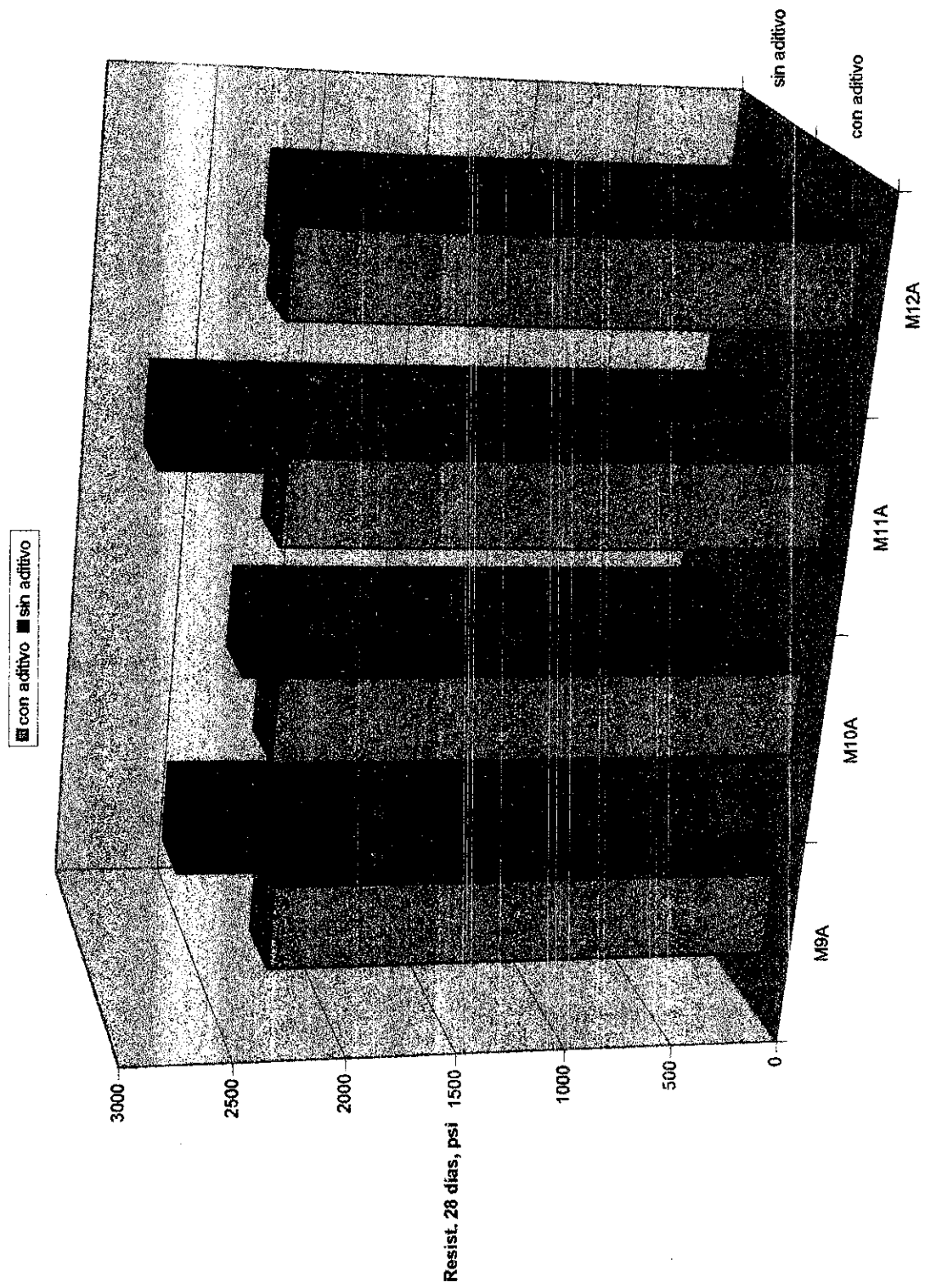
■ sin aditivo ■ con aditivo



Gráfica 13



Gráfica 14



I. Fichas de Resultados

tabla 13

Cemento	M9Aa
% Blahac	48
% Psc	2
% Pdb	0
% Pdl	50
% Pdl	0.15

		Ensayo	dias	1	2	3	Prom.	lbs/plg ²
Peso Muestra g.	510	8-Jun-00	7	7475	7715	7195	7461.667	1865.42
masa/vol. suelta, g	1214.29	29-Jun-00	28	9510	9245	8990	9248	2312.00
Arena Standard g.	810							
Arena 20-30 g.	810							
Vol. Agua ml	243							
Flujo Inicial	109.6							
Flujo Final	83							
% Ret. Agua	75.73							
Contenido de aire	9.59							
% Fineza 525	90.87							
S. Blaine g/cm ³	5636							
peso/400 ml	831.8							
Fraguado Inicial min.	120							
Fraguado final min.	325							
Expansión Autoclave	0.06							
Rel. Arena/cemento	3.18:1							
Densidad g/cm ³	2.88							
Rel. Agua/cemento	0.48							

tabla 14

Cemento	M10Aa
% Clinker	48
% Yeso	2
% Arena	50
% Agua	0
% Retenido	0.58

		Ensayo	dias	1	2	3	Prom.	Lbs/plg ²
Peso Muestra g	510							
masa/vol. suelta, g	1214.29	31-May-00	7	6865	6850	6870	6861.67	1715.42
Arena Standard g.	810	21-Jun-00	28	9315	9635	9535	9495	2374.00
Arena 20-30 g.	810							
Vol. Agua ml	240							
Flujo Inicial	108.2							
Flujo Final	79.5							
% Ret. Agua	73.48							
% Contenido de aire	11.78							
% Fineza 325	85.24							
S. Blaine g/cm ²	5425							
peso/400 ml	808.1							
Fraguado Inicial min.	295							
Fraguado Final min,	425							
Expansión Autoclave	0.01							
Rel. Arena/cemento	3.18:1							
Densidad g/cm ³	2.78							
Rel. Agua/cemento	0.47							

tabla 15

Cemento	M11Aa
% Agua	48
% Arena	2
% Arena	20
% Arena	30
% Arena	0.2

		Ensayo	dias	1	2	3	Prom.	Lbs/plg ²
Peso Muestra g.	510							
masa/vol. suelta, g	1214.29	9-Jun-00	7	7655	7200	7270	7375	1843.75
Arena Standard g.	810	30-Jun-00	28	9405	9595	10005	9668.333	2417.08
Arena 20-30 g.	810							
Vol. Agua ml	245							
Flujo Inicial	110.5							
Flujo Final	85							
% Ret. Agua	76.92							
% Contenido de aire	8.89							
% Fineza 325	89.37							
S. Blaine g/cm ²	5828							
peso/400 ml	834.6/400							
Fraguado Inicial min.	245							
Fraguado Final min.	375							
Expansión Autoclave	0.06							
Rel. Arena/cemento	3.18:1							
Densidad g/cm ³	2.83							
Rel. Agua/cemento	0.48							

tabla 16

Cemento	M12Aa
Agua	48
Yeso	2
Albano	10
Grasas	40
Aditivo	0.16

		Ensayo	días	1	2	3	Prom.	Lbs/plg ²
Peso Muestra g.	510							
masa/vol. suelta,g	1214.29	14-Jun-00	7	7815	7320	7265	7466.667	1866.67
Arena Standard g.	810	5-Jul-00	28	10440	9740	9520	9900	2475.00
Arena 20-30 g.	810							
Vol. Agua ml	243							
Flujo Inicial	106.9							
Flujo Final	77.8							
% Ret. Agua	72.78							
%Contenido de aire	8.76							
% Fineza 325	90							
S. Blaine g/cm ²	5969							
peso/400 ml	839.4/400							
Fraguado Inicial min.	223							
Fraguado Final min.	345							
Expansión Autoclave	0.06							
Rel. Arena/cemento	3.18:1							
Densidad g/cm ³	2.86							
Rel. Agua/cemento	0.48							

IX. CONCLUSIONES

- 1) Los ensayos a las mezclas finales muestran la factibilidad de producir el ligante de albañilería, con 50 % de clinker, cumpliendo con los requerimientos físicos de la norma ASTM C-91, para cemento de mampostería tipo S.
- 2) Las mezclas finales, no cumplen por sí solas el valor mínimo del requerimiento físico de Retención de agua de la norma ASTM C-91.
- 3) Es necesaria la adición a las mezclas finales de un aditivo incorporador de aire o plastificante, en bajos porcentajes, para cumplir con el valor mínimo para la retención de agua de la norma ASTM C-91.
- 4) El porcentaje de aditivo agregado a las mezclas finales, reduce en aproximadamente un 15% la resistencia a compresión a siete días de las mismas.
- 5) Las mezclas M9A, M11A y M12A con porcentajes de caliza, tienen un valor alto en retención de agua.
- 6) Las mezclas M9A, M11A y M12A con porcentajes de caliza, tienen una mayor trabajabilidad.
- 7) Las mezcla M11A con porcentaje de caliza tienen una mayor resistencia a compresión a 7 días.
- 8) Las mezclas con un porcentaje mayor de toba volcánica, aumentan las resistencia a compresión a 28 días.
- 9) Se descartó el uso de Cal Hidratada, debido a que se necesita un porcentaje alto para tener una buena retención de agua lo que se traduce en reducir en gran cantidad la resistencia a compresión.
- 10) Las Mezclas finales con aditivo incorporador de aire cumplen con el parámetro mínimo de contenido de aire.
- 11) Las mezclas finales con aditivo incorporador de aire alcanzan el valor requerido para su fineza en tamiz 325.
- 12) Todas las mezclas finales con aditivo incorporador de aire cumplen el valor requerido para el ensayo de Expansión Autoclave.

13) La Mezcla M10A necesita un porcentaje más alto de aditivo incorporador de aire debido que su retención de agua es muy baja.

14) La mezcla M11Aa compuesta con un 50% de toba volcánica, tiene el mayor tiempo de fraguado inicial y fraguado final, de las mezclas finales.

15) La mezcla M9Aa con un 50% de caliza, tiene el menor tiempo de fraguado inicial y fraguado final, de las mezclas finales.

X. Recomendaciones

- 1) Basado en los resultados del presente estudio, se recomienda empezar con el proceso de pruebas a nivel industrial con la mezcla **M11Aa**, debido a que cumple de muy buena forma los requerimientos físicos de las normas aplicables a este estudio, si se toma en consideración lo siguiente:
 - 1.1) Se recomienda que la fineza de los materiales constituyentes de las mezclas debe ser del orden de **85% que pasa tamiz 325**, debido a que una fineza menor implicaría una menor reactividad y se esperaría una baja en su resistencia a compresión; mientras que una fineza mayor aumentaría sus costos de producción.
 - 1.2) Los materiales del ligante de albañilería deben ser molidos conjuntamente, ya que esto hará mucho más homogénea la mezcla.
 - 1.3) La producción industrial del ligante de albañilería, debe ser preferiblemente empacada en **bolsas de 34 kg**, peso que se utilizó para 1 pie cúbico de ligante de albañilería en el presente estudio.
 - 1.4) Las muestras de la producción industrial deban someterse a los ensayos descritos en el presente trabajo y además a los ensayos de **adherencia a flexión** según ASTM C-1072.
- 2) Se recomienda hacer una serie de pruebas de campo, previas al lanzamiento comercial del ligante, haciendo morteros y repellos con las mezclas finales escogidas en combinación con distintas arenas, las más usadas en el medio, siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C-780.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- 1) ORDOÑEZ PORTA, Hugo Rafael. Optimización de la operación de molinos de bolas en plantas de cemento. Tesis Ingeniero Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1986.
- 2) MACAL DOMINGUEZ, Jorge Francisco. Propuesta de Morteros de Levantado para Mampostería en Areas Urbanas. Tesis Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1988.
- 3) MOLINA MARROQUIN, Mario Estuardo. Cementos Puzolánicos para Mampostería Típica en Guatemala. Tesis Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1989.
- 4) ORDOÑEZ PORTA, Hugo Rafael. Cementos de Albañilería. Cementos Progreso. 1991.
- 5) QUIÑONEZ DE LA CRUZ, Edgar Vinicio. Evaluación de la resistencia en compresión de morteros de cemento puzolánico para uso en mampostería. Tesis Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1991.
- 6) ORTIZ CASTILLO, Edgar Leonel. Evaluación de Propiedades Físico-Mecánicas en Morteros de Mampostería de Nueve Cementos Puzolánicos a Base de Arena Blanca. Tesis Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1992.
- 7) SELECTING AND SPECIFYING MORTAR AND GROUT FOR UNIT MASONRY. Masonry Information. Portland Cement Association. 1992.
- 8) AMRHEIN, James E. Reinforced Masonry Engineering Handbook. Fifth Edition. 1994.
- 9) BEALL, Christine. Mortero. Editorial The Aberdeen Group. Edición en Español. Illinois, Estados Unidos. 1994.
- 10) QUALITY ASSURANCE FOR MASONRY MORTAR. Masonry Information. Portland Cement Association. 1995.
- 11) MORTAR CEMENT. Masonry Information. Portland Cement Association. December 1997.

- 12) BARAHONA GARRIDO, Rubén. Evaluación de los Morteros Premezclados para Levantado en Guatemala. Tesis Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1999.
- 13) ANUAL BOOK OF ASTM STANDARDS. American Society for Testing Materials. 1999. Volumen no. 4, 15 volúmenes.

XII. GLOSARIO

Cemento o Ligante de mampostería

Conglomerante hidráulico de baja resistencia mecánica consistente de mezclas de clinker de cemento Portland, regulador de fraguado y adiciones minerales diversas (puzolanas, cales, calizas, llenadores inertes) é incluso aditivos.

Tambien se le conoce como **Ligante de Albañilería**.

Flujo o escurrimiento

Medida de la consistencia de un cemento, mortero o pasta de cemento recién mezclados, en términos del incremento en diámetro de un espécimen trancocónico después de una serie de golpes sucesivos.

Fraguado

Grado de endurecimiento por pérdida de plasticidad de una pasta de cemento, mortero o concreto frescos, usualmente medidos en términos de resistencia a penetración o deformación.

Toba Volcánica

Material puzolánico de origen volcánico utilizado en la fabricación de cemento en Guatemala.

Finura Blaine

La finura de materiales pulverizados tales como cementos y puzolanas, expresada como area superficial por unidad de masa, (usualmente en m²/kg) determinada por el permeabilímetro Blaine.

Mortero

Es una mezcla plástica de uno o varios aglomerantes pulverizados, agregados finos, agua y a veces adiciones y/o aditivos.

Mampostería

Sistema constructivo consistente en colocar unidades de mampostería, tales como : ladrillos, bloques, adobes o piedras, unidas unas con otras, usualmente por medio de morteros.

Se le conoce tambien como **albañilería**.

ASTM

Siglas de la Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales (American Society for Testing Materials).

Clinker de Cemento Portland

Producto calcinado hasta fusión parcial de una mezcla convenientemente proporcionada y homogenizada de arcillas y calizas, o materiales afines que luego se pulveriza para fabricar cemento.