

**ESTUDIO DE LA EXUDACION Y LA RETRACCION EN EL
MICROCONCRETO PARA LA REPARACION DE
ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO**

TUTOR ACADEMICO: Prof. Germán Isea

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al
título de Ingeniero Civil
por los bachilleres:

ABDEV MERRYS, Ibrahim Alí
BLANCO POSSE, Orlando Ruben

Caracas, Octubre de 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ABDEV M., Ibrahim A.
BLANCO P., Orlando R.**

“ESTUDIO DE LA EXUDACION Y RETRACCION EN EL MICROCONCRETO PARA LA REPARACION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

**Tutor académico: Prof. Germán Isea, Tesis. Caracas, U.C.V.
Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2002**

Palabras claves: Microconcreto, Exudación, Retracción, Reparación

Resumen

En este Trabajo Especial de Grado, se tiene como finalidad elaborar doce mezclas de microconcreto para distintos valores de relación agua/cemento a las cuales, se les realiza un estudio de exudación y de retracción según lo estipulado en las Normas COVENIN respectivas. Adicionalmente se analizan las características del microconcreto, en estado fresco, tales como: asentamiento, flujo y una vez que ha endurecido se analiza la resistencia a la compresión de las mezclas elaboradas.

Al concluir los ensayos, se analizan los resultados obtenidos, y se decide cuales de las mezclas elaboradas son las más convenientes

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

para utilizarlas en la reparación de estructuras de concreto armado. Dichas mezclas, son aquellas en las que la exudación y la retracción son menores y dentro de los límites aceptables. Luego, se hizo una reparación, de probetas con defectos, con la mezcla menos adecuada (de mayor relación agua/cemento y mayor flujo) para tener una idea del comportamiento del elemento reparado.

La reparación de estructuras de concreto armado con el microconcreto está orientada a resolver diversos problemas que se generan en las estructuras de concreto armado a causa de muchos factores tales como: reposición del concreto por corrosión del acero, caída del recubrimiento por falta de adherencia, relleno de perforaciones para obtención de núcleos (core drill), mal manejo del concreto al ser vaciado éste en el encofrado de manera deficiente, lo cual produce las llamadas cangrejeras, o vacíos en la masa que son visibles y pueden originar problemas posteriores si no se resuelven correctamente, y cualquier otro problema que afecte a estructuras de concreto armado.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	xv
 CAPITULO I MARCO TEORICO	
I.1 Definición de microconcreto.-	1
I.2 Características de los materiales componentes del	
Microconcreto	1
I.2.1 Cemento	1
I.2.1.1 Cemento Portland	2
I.2.2 Agua de mezclado	4
I.2.3 Agregado	6
I.2.3.1 Granulometría	7
I.2.3.2 Tamaño máximo	8
I.2.3.3 Segregación del agregado	9
I.2.3.4 Porcentaje de absorción	9
I.2.3.5 Peso específico	10
I.3.- Diseño de mezcla para microconcreto	11
I.3.1 Agregado saturado con superficie seca	11
I.3.2 Humedad del agregado	13

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

<i>I.3.3 Humedad ponderada del agregado</i>	14
<i>I.3.4 Ecuación Volumétrica</i>	15
<i>I.3.5 Corrección por humedad</i>	16
<i>I.3.6 Ajuste de la cantidad de agua</i>	17
<i>I.3.7 Relación agua/cemento</i>	18
<i>I.4.- Aspectos generales de las características del micro-</i>	
<i>Concreto en estado fresco</i>	18
<i>I.4.1 Relación triangular</i>	19
<i>I.4.2 Trabajabilidad</i>	20
<i>I.4.3 Asentamiento</i>	21
<i>I.4.4 Flujo en el microconcreto</i>	22
<i>I.4.5 Cono de Abrams</i>	23
<i>I.4.6 Segregación en el microconcreto</i>	24
<i>I.4.7 Fraguado del microconcreto</i>	24
<i>I.4.8 Ley de Abrams</i>	25
<i>I.4.9 Compactación del microconcreto</i>	26
<i>I.4.10 Curado de las probetas</i>	26
<i>I.5.- Resistencia del microconcreto</i>	27
<i>I.6.- Estudio de la exudación en el microconcreto</i>	28
<i>I.6.1 Factores que contribuyen a la exudación</i>	30
<i>I.6.2 Problemas causados por la exudación</i>	30
<i>I.6.2.1 Adherencia entre capas</i>	31
<i>I.7.- Estudio de la retracción en el microconcreto</i>	31

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

<i>I.7.1 Factores que contribuyen a la retracción</i>	34
<i>I.7.1.1 Geometría de las piezas</i>	34
<i>I.7.1.2 Condiciones ambientales</i>	35
<i>I.7.1.3 Características de la mezcla</i>	35
<i>I.7.1.4 Granulometría</i>	36
<i>I.7.2 Tipos de retracción</i>	37
<i>I.7.2.1 Retracción por fraguado</i>	37
<i>I.7.2.2 Retracción de hidratación o química</i>	38
<i>I.7.2.3 Retracción por secado</i>	38
<i>I.7.2.4 Retracción por carbonatación</i>	39
<i>I.7.3 Entumecimiento</i>	40
<i>I.7.4 Problemas generados por la retracción</i>	40
<i>I.8.- Reparación de estructuras de concreto armado</i>	41
<i>I.8.1 Patología de las estructuras de concreto armado</i>	42
<i>I.8.2 Uso del microconcreto en la reparación de estructuras de concreto armado</i>	44
<i>I.8.3 Requisitos que se deben cumplir para la reparación con Microconcreto</i>	45
<i>I.8.4 Ventajas y desventajas del microconcreto</i>	45
<i>I.8.4.1 Ventajas del microconcreto en la reparación</i>	46
<i>I.8.4.2 Desventajas del microconcreto en la reparación</i>	47
<i>I.8.5 Preparación del área afectada</i>	48

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CAPITULO II MARCO METODOLOGICO

II.1 Metodología de trabajo	50
II.2 Descripción de los materiales empleados	50
II.2.1 Agregado fino	50
II.2.2 Cemento	51
II.2.3 Agua	52
II.2.4 Yeso dental	52
II.3 Equipo utilizado	53
II.4 Almacenamiento de los materiales	57
II.5 Ensayos realizados a los materiales	58
II.6 Diseño de mezcla para microconcreto	60
II.6.1 Análisis del agregado	60
II.6.1.1 Granulometría	60
II.6.1.2 Determinación del peso específico y absorción	62
II.6.1.3 Partículas en suspensión	63
II.6.2 Determinación general de la dosificación para mezclas de microconcreto	64
II.6.2.1 Condición del agregado saturado con superficie seca	65
II.6.2.2 Determinación de la humedad ponderada del agregado	66
II.6.2.3 Corrección del agregado por humedad	67
II.6.2.4 Corrección de la cantidad de agua	67
II.6.2.5 Diseño de una mezcla de microconcreto paso a paso	68

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

<i>II.6.3</i>	<i>Elaboración de mezclas</i>	75
<i>II.6.3.1</i>	<i>Vaciado del microconcreto en los moldes</i>	76
<i>II.6.3.2</i>	<i>Curado de las probetas</i>	76
<i>II.6.3.3</i>	<i>Desencofrado de las probetas</i>	77
II.7	Análisis de la mezcla en estado fresco y endurecido	77
<i>II.7.1</i>	<i>Estado fresco. Estudio de la trabajabilidad y contenido</i>	
	<i>Aire en la mezcla</i>	78
<i>II.7.1.1</i>	<i>Cono de Abrams</i>	78
<i>II.7.1.2</i>	<i>Flujo</i>	80
<i>II.7.1.3</i>	<i>Contenido de aire</i>	82
<i>II.7.2</i>	<i>Estado endurecido. Estudio de la resistencia a la</i>	
	<i>compresión</i>	83
II.8	Descripción de los ensayos de Exudación y Retracción	88
<i>II.8.1</i>	<i>Estudio de la Exudación</i>	88
<i>II.8.2</i>	<i>Estudio de la Retracción</i>	93
II.9	Reparación de estructuras de concreto armado usando	
	el microconcreto	106

CAPITULO III RESULTADOS OBTENIDOS

<i>III.1</i>	<i>Resultados obtenidos</i>	111
<i>III.1.1</i>	<i>Asentamiento y resistencia a la compresión</i>	111
<i>III.1.2</i>	<i>Flujo en el microconcreto</i>	113

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

<i>III.1.3 Exudación en el microconcreto</i>	115
<i>III.1.4 Retracción en el microconcreto</i>	117
<i>III.1.5 Reparación en el microconcreto</i>	124
CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS	
IV.1 Agregado	126
IV.2 Asentamiento y resistencia a la compresión	126
IV.3 Flujo	127
IV.4 Exudación	127
IV.5 Retracción	128
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	137
<i>Anexo A Granulometría del agregado fino</i>	137
<i>Anexo B Peso específico y absorción</i>	143
<i>Anexo C Control de humedad del agregado fino</i>	144
<i>Anexo D Humedad ponderada del agregado fino</i>	145
<i>Anexo E Volumen de mezcla utilizado</i>	146
<i>Anexo F Diseño de mezcla</i>	147
<i>Anexo G Asentamientos</i>	149

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

<i>Anexo H Resistencia a la compresión</i>	151
<i>Anexo I Flujo de mezclas</i>	153
<i>Anexo J Exudación en el microconcreto</i>	155
<i>Anexo K Retracción de muestras sumergidas</i>	157
<i>Anexo L Retracción en el microconcreto de muestras tamizadas y diferencia de pesos</i>	160
<i>Anexo M Resistencia de mezcla con arena lavada</i>	162

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTRODUCCION

Las causas que originan daños en las estructuras son tan diversas como los métodos diseñados para resolver esos daños. En el presente estudio no se evalúan las causas que producen los daños, tan solo se intenta hacer una evaluación de la exudación y la retracción en el microconcreto para determinar mezclas de este material que sirvan para reparar estructuras de concreto armado.

Lo que se intenta es encontrar una mezcla óptima que no libere demasiada agua por exudación ni se retraiga demasiado; para que la reparación efectuada se adhiera perfectamente a la superficie de reparación y no sufra fisuras producto de una rápida pérdida de agua y de volumen cuando aun esta en estado fresco.

El objetivo general de este trabajo es el de realizar un estudio al microconcreto para determinar la factibilidad que tiene este material de ser usado en la reparación de estructuras de concreto armado. Para alcanzar este objetivo se proponen varios objetivos específicos tales como:

- Determinación de la resistencia a edad normativa del microconcreto

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Determinar el grado de exudación del microconcreto bajo estudio.
- Determinar el grado de retracción del microconcreto bajo estudio
- Determinar la posibilidad de uso en reparaciones de concreto armado.

MARCO TEORICO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.1 DEFINICION DE MICROCONCRETO.-

El microconcreto es un mortero compuesto de agregado fino (arena), cemento y agua convenientemente dosificado para elaborar mezclas trabajables. De tal manera que, su comportamiento sea similar al del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

I.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

COMPONENTES DEL MICROCONCRETO

I.2.1 CEMENTO.-

El cemento es un material que se obtiene a partir de materias primas que son abundantes en la naturaleza. Tales como la piedra caliza, arenas silíceas, esquistos y mineral de hierro entre otros. A los cuales, es preciso someter a un arduo proceso industrial que entre otras cosas, incluye varias moliendas para alcanzar un alto grado de finura, cocción a altas temperaturas en hornos especiales, control estricto en todo el proceso y por último, cuidados ambientales necesarios para impedir la contaminación de las zonas adyacentes a la industria procesadora de la materia prima.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Como es lógico pensar, para obtener ese material de color característico gris, se requiere de una gran inversión; sin embargo, a pesar del arduo proceso necesario para su obtención, no es un producto que pareciera ser muy caro; puesto que es el material más utilizado en nuestro país en la industria de la construcción.

El cemento posee muchas características; pero una de las más importantes, se produce cuando al mezclarse con una cierta cantidad de agua, forma una pasta aglomerante que tiene propiedades adhesivas y cohesivas; lo cual le permite, junto al agua y los agregados formar parte de otro material denominado concreto el cual es muy utilizado en nuestro medio. La función principal del cemento en la mezcla es otorgarle a la misma, fluidez y lubricación en estado fresco y la resistencia adecuada una vez que el concreto ha fraguado. En el mercado existen varios tipos de cemento los cuales poseen ciertas características que los diferencian entre sí. El más conocido es el cemento tipo Portland ^{[1][2][4][17]}

I.2.1.1 CEMENTO PORTLAND.-

El cemento Portland es una cal hidráulica perfeccionada, se produce haciendo que se combinen químicamente unas materias de

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

carácter ácido, principalmente compuesto de sílice y alúmina, las cuales provienen de arcillas, con otras de carácter básico compuesto primordialmente de cal, aportadas por calizas. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización.

Esta combinación tiene lugar entre las materias primas, finamente molidas, calentadas en hornos a temperaturas de semifusión. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos de no más de 5 cms cuya forma viene dada por el efecto de rotación del horno. Estos fragmentos reciben el nombre de clinker Portland.

El cemento Portland, es el producto obtenido de la pulverización del Clinker Portland, cuando se ha enfriado, este clinker se muele con una reducida porción de yeso, el cual tiene la función de regular el tiempo de fraguado. A su vez, se puede triturar con otros materiales como puzolana, alúmina, etc. Para obtener los diferentes tipos de cemento Portland.

El cemento Portland se clasifica según su uso en diferentes tipos que van del I al V (*ver tabla 1.1*); en lo que concierne al desarrollo

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

de este Trabajo Especial se usará el cemento Portland Tipo I debido a que es el más común y porque además no se requiere de propiedades especiales correspondientes a los otros tipos para la ejecución de los ensayos de esta investigación. Es bueno indicar que el cemento se comercializa en sacos cuyo peso es de 42.5 Kgr c/u [1][4][17]

Tipos	Características
TIPO I	Uso general
TIPO II	Resistente a sulfatos y bajo calor de hidratación
TIPO III	Altas resistencias iniciales
TIPO IV	Muy bajo calor de hidratación
TIPO V	Alta resistencia a los sulfatos

Tabla I.1 Tipos y características del cemento Portland

I.2.2 AGUA DE MEZCLADO.-

Al igual que el cemento, la función principal del agua en la mezcla, es otorgarle a la misma trabajabilidad, lubricación y resistencia. Para lograr que el agua cumpla con estas funciones dentro de la mezcla, la cantidad de este componente debe ser calculada de la

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

manera más exacta posible; pues al concreto, no debe faltarle ni sobrarle agua. De lo contrario, las mezclas elaboradas podrían quedar muy secas y poco trabajables o muy fluidas y altamente segregables. Es por ello, que la cantidad de agua y de los demás componentes del microconcreto, se calcula a través del diseño de mezcla.

El agua utilizada para el desarrollo de este trabajo debe ser potable según la Norma COVENIN¹ 2385-86^[32] la cual es suministrada por HIDROCAPITAL a través de su red de distribución; cabe destacar que no es recomendable el uso de agua no potable, pues eso podría influir en los resultados de los ensayos elaborados.

El agua de mar no debe ser utilizada por ningún motivo, pues ataca a la resistencia del concreto y corroe el acero de refuerzo en el caso de que lo hubiere. Al mismo tiempo, las aguas de procedencia dudosa, deben ser sometidas a análisis físicos y químicos tal como lo indica la Norma antes citada para determinar su composición y de esta forma, decidir si puede ser usada o no en la elaboración del microconcreto. Por lo tanto, para evitar estos múltiples inconvenientes que podrían encarecer el trabajo por la cantidad de estudios que se

¹ COVENIN: Comisión venezolana de normas industriales

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

deben realizar, lo más práctico y conveniente es usar el agua potable en las cantidades adecuadas.^{[1][4][32]}

I.2.3 AGREGADO.-

Los agregados, al igual que el resto de los componentes del concreto, son de origen natural; son fragmentos o granos pétreos que provienen de rocas. Se puede decir que se clasifican en dos tipos según el tamaño de los granos que lo componen, agregado grueso y agregado fino, como el presente caso de estudio involucra al microconcreto, el árido utilizado es el fino.

Los áridos finos, son más conocidos como arena, las cuales son extraídas de lugares próximos a los cursos actuales de agua tales como lechos de ríos, lagunas, etc. La calidad de este material es muy importante, pues el mismo cumple ciertas funciones dentro de la mezcla. Estas funciones, entre otras, son la reducción de costos y aporte de resistencia a la mezcla. Para garantizar su calidad, es necesario hacerle al agregado una serie de estudios normativos.

En este caso, los agregados finos deben ser sometidos a una serie de pruebas tales como la granulometría, peso específico, absorción, partículas en suspensión, etc. que como es sabido

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

incrementan el costo de la obra. Es por ello, que por lo general, se prescinde de muchos de estos estudios cuando la cantera de donde se extrae el material está en una zona donde hay experiencia en el saque y su calidad, ya ha sido comprobada en la elaboración de concretos. Sin embargo cuando el origen del agregado es desconocido es preciso hacer los estudios necesarios para comprobar su calidad. ^[1]

[2] [4] [23]

I.2.3.1 GRANULOMETRIA.-

La granulometría sirve para determinar la distribución del tamaño de los granos que componen a un determinado agregado. Este estudio consiste en hacer pasar una muestra representativa del agregado por una serie de cedazos los cuales poseen un número que indica la abertura de cada tamiz y que se colocan en cascada, uno sobre otro, con el de mayor abertura arriba y los de menor abajo. Para esta investigación se usan los tamices siguientes: 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y el fondo.

Este grupo de tamices se coloca en una tamizadora eléctrica, según la norma COVENIN 255-77^[18], durante el tiempo necesario para lograr la separación sin que en un minuto pasa más de uno por ciento. El tiempo de tamizado en este Trabajo es de cinco minutos; en los

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

cuales, los granos se van distribuyendo en cada uno de los cedazos según su tamaño. Transcurrido el tiempo fijado, se separan cada uno de los cedazos y se pesa su contenido para determinar el porcentaje de retenido y el porcentaje de pasante de cada uno.

Con los datos anteriores, se procede al trazado de la curva granulométrica para ver gráficamente la distribución del agregado por tamices. Los límites granulométricos normativos se muestran en la tabla I.2 ^{[1] [2] [4]}

Cedazos	Porcentaje de pasante
	%
3/8"	100
1/4"	92-100
# 4	85-100
# 8	60-95
# 16	40-80
# 30	20-60
# 50	8-30
# 100	2-10
Fondo	0-5

Tabla I.2 Límites granulométricos normativos del agregado fino de la norma COVENIN 277-92 [23]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.2.3.2 TAMAÑO MÁXIMO.-

El tamaño máximo se refiere al menor cedazo que deje pasar el 95 % o más de la muestra del agregado en estudio, yendo de los más finos hacia los más gruesos. El tamaño máximo influye en la resistencia del concreto debido a que los niveles de resistencia más altos se obtienen con tamaños máximos pequeños y dosis altas de cemento.^{[1][2]}

I.2.3.3 SEGREGACIÓN DEL AGREGADO.-

La segregación ocurre en los agregados cuando los granos que lo componen tienen mucho contraste entre sí, esto induce a su separación. Cuando no están bien mezclados, esto se nota en los de mayor tamaño que tienden a dispersarse, es importante antes de hacer una mezcla, mezclar bien el agregado fino para tener una muestra realmente representativa. ^{[1][4]}

I.2.3.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.-

El porcentaje de absorción es el porcentaje de agua que puede absorber un agregado seco para pasar a la condición de saturado con superficie seca. Este fenómeno es capaz de quitarle agua a la mezcla con lo que la relación agua/cemento se afecta y por lo tanto, la

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

mezcla se altera a tal punto que puede convertirse en una mezcla poco trabajable.

Es por esto, que una vez determinado este valor según se indica en la Norma COVENIN 268-78^[20] se procede a realizar la corrección de agua en el diseño de mezcla; y así, usar solamente el agua necesaria para garantizar la condición de saturado con superficie seca. ^{[1] [4] [20]}

$$Abs = \left(\frac{W - W_1}{W_1} \right) \times 100$$

*Ec 1.1 Cálculo de la absorción
del agregado [20]*

Donde:

W , es el peso de la muestra ensayada en condición de saturada con superficie seca. En gramos.

W_1 , es el peso de la muestra W secada al horno a temperatura constante de 110 °C durante 24 horas

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.2.3.5 PESO ESPECIFICO.-

El peso específico del agregado o densidad se usa para establecer la condición del volumen en el diseño de mezcla.^[1]

$$\gamma_s = \left(\frac{W}{W_a + W - W_p} \right)$$

*Ec 1.2 Cálculo del peso específico
del agregado fino [20]*

Donde:

W , es el peso de la muestra ensayada en condición de saturada con superficie seca. En gramos.

W_a , Peso del picnómetro lleno de agua en gramos.

W_p , Peso del picnómetro lleno de agua y con la muestra ensayada. en gramos.

I.3 DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROCONCRETO.-

El diseño de mezcla como su nombre lo indica, consiste en diseñar la mezcla apropiada combinando la cantidad necesaria de los

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

componentes del microconcreto; es decir, la arena, el agua y el cemento en las proporciones adecuadas para elaborar mezclas trabajables y que atiendan a los requerimientos del diseño. Tanto durante su estado fresco o Plástico, como después, en el estado endurecido, en los aspectos de resistencia y durabilidad.

Para ello, es necesario conocer algunas características del agregado tal como su peso específico y absorción las cuales ya fueron definidas anteriormente. Existen otras variables que es preciso conocer para realizar el diseño de mezcla. Entre ellas se tiene la humedad del agregado, la humedad ponderada, la condición de saturado con superficie seca, etc.^{[1][4]}

I.3.1 AGREGADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA.-

Como se dijo anteriormente, la condición de saturado con superficie seca ocurre cuando los poros del agregado están saturados de agua y su superficie está seca; de tal manera que al añadir el agua a la mezcla, esta no se altera con exceso o déficit de agua. Para realizar el diseño de mezcla, se asume que el agregado empleado está en esta condición; pero se debe corregir el mismo por

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

humedad para aportar a la mezcla el agua estrictamente necesaria.^{[1][4]}

ver Fig I.1.

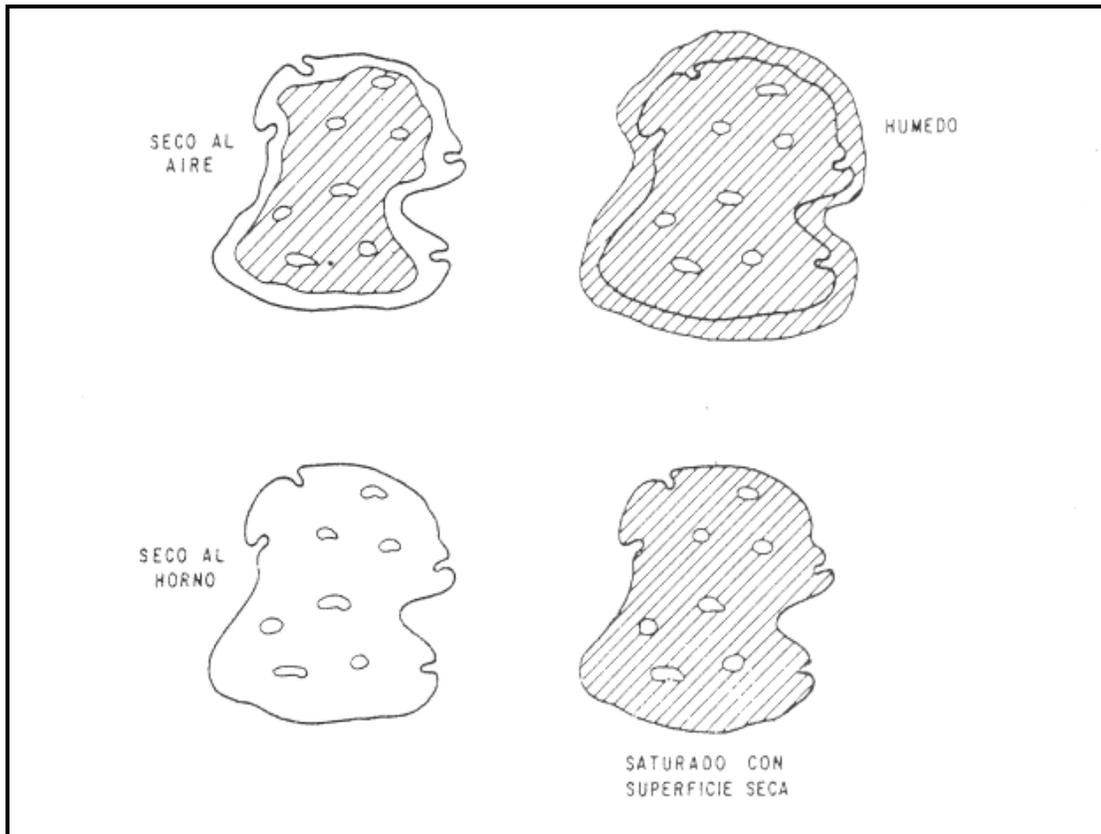


Fig I.1 Estado de humedad de los agregados [1]

I.3.2 HUMEDAD DEL AGREGADO.-

La humedad es la cantidad de agua que un agregado fino o grueso posee y que se obtiene de la diferencia entre una porción del agregado húmedo y la misma porción del agregado, pero secada al horno, a temperatura constante de aproximadamente 110° C y durante

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

24 horas. Este valor se expresa como porcentaje en peso referido al material seco. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$h = \left(\frac{Pmh - Pms}{Pms} \right) \times 100$$

Ec. 1.3 Cálculo de la humedad de una muestra de agregado fino [4]

Donde:

Pmh, es el peso de la muestra en estado húmedo.

Pms, es el peso de la muestra secada al horno durante 24 horas a Temp. Constante de 110 °C

En los agregados, la humedad se aloja en los poros y microporos internos de los granos de la arena, también se presenta como una película que recubre los granos. La determinación de la humedad es importante, porque el agua que forma una película en torno a los granos del agregado al momento de la mezcla, pasa a formar parte de la misma; y por lo tanto, altera la cantidad de agua con lo cual se tienen distorsiones que afectan la relación agua/cemento y la resistencia del microconcreto.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Del mismo modo, si un agregado está muy seco, al hacer las mezclas con una cierta cantidad de agua sin haberse tomado en cuenta la humedad, ocurre que el agregado va a absorber parte de esa agua y se tendrá una mezcla seca y poco trabajable. El equilibrio ocurre cuando el agregado tiene la condición de saturado con superficie seca, en la que todos los poros están saturados de agua y su superficie está seca; por lo que al añadir el agua de mezclado, el agregado no absorberá ni aportará agua a la mezcla y no alterará ni su relación agua-cemento ni su resistencia.^{[1] [4] [22]}

I.3.3 HUMEDAD PONDERADA DEL AGREGADO.-

La arena almacenada en las bolsas de manera hermética, conserva una humedad propia de ese agregado. Esto, es consecuencia de los cambios de temperatura y humedad ambiental que están presentes en el momento del almacenaje del agregado. En consecuencia, cuando se va a realizar una mezcla y se usa más de una bolsa, es necesario determinar la humedad individual de cada una de las bolsas y luego, con las humedades obtenidas, se calcula la humedad ponderada del todo para hacer la corrección necesaria al agregado.^[4]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

$$H_{pond} = \frac{\sum H_{bolsa} \times \text{Peso de bolsa}}{\sum \text{Peso de bolsa}}$$

*Ec 1.4 Cálculo de la humedad
ponderada del agregado fino [4]*

Donde :

Hbolsa = Es la humedad del agregado embolsado

Peso bolsa = Es el peso del agregado por bolsa

I.3.4 ECUACION VOLUMÉTRICA.-

La ecuación volumétrica, permite calcular la cantidad de agregado necesario para obtener un mil litros de mezcla. En esta ecuación están involucradas las variables de Volumen de agua, aire, peso de cemento y el peso específico del agregado. [1] [4]

$$Pa = \gamma_{\text{agregado}} [1000 - (C \times 0.3 + Va_{\text{sss}} + Va_{\text{aire}})]$$

*Ec 1.5 Ecuación volumétrica para determinar
la dosis de agregado [4]*

Donde:

γ , representa el peso específico de la arena en Kg/m³

C, representa la cantidad de cemento en Kg y 0.3xC es la corrección por volumen de pasta [5] [19]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Va sss, es la cantidad de agua en Kg para la condición de agregado saturado con superficie seca

Vaire, es la cantidad de aire atrapado en la mezcla y que en un principio se asumió como el 2 % del volumen total de 1000 litros. Es decir 20 litros/m³ El cálculo posterior de este valor dio como resultado el 2% esperado.

I.3.5 CORRECCION POR HUMEDAD.-

El agregado en la práctica, no se encuentra en la condición ideal de saturado con superficie seca; si no más bien, tiene cualquier condición de humedad. Es por ello, que es necesario hacer la corrección respectiva para quitarle al agregado el agua en exceso o en su defecto, añadirle agua si fuese necesario. Para lograr esto se usa la siguiente fórmula:^{[1] [4]}

$$\frac{P_{sss}}{(100 + Abs)} = \frac{Ph}{(100 + H_{pond})}$$

Ec. 1.6 Ecuación para corregir el agregado por humedad [4]

Donde :

P_{sss}, es el peso del agregado en condición de s.s.s.

Ph, es el peso del agregado húmedo

Abs, es la Absorción del agregado

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

H_{pond}, es la Humedad ponderada del agregado

I.3.6 AJUSTE DE LA CANTIDAD DE AGUA.-

La cantidad de agua se ajusta una vez que se ha determinado la humedad en la muestra de arena. Con este ajuste, lo que se busca es llevar el agregado a la condición de saturado con superficie seca.

El ajuste se realiza con la siguiente ecuación: ^[4]

$$A_{corr} = A_{sss} + (P_{sss} - Ph)$$

*Ec 1.7 Corrección de la cantidad
de agua por m³ [4]*

Donde :

A_{corr}, es la Dosis definitiva de agua por m³

A_{sss}, es la Dosis de agua por m³ para el agregado s.s.s

P_{sss}, es el Peso del agregado en condición de s.s.s.

Ph, es el Peso del agregado en estado húmedo

I.3.7 RELACION AGUA/CEMENTO.-

La relación agua/cemento es parte de la relación triangular. Por lo tanto, es un parámetro del cual depende la resistencia del concreto. Se calcula como el cociente entre el peso del agua de mezclado y

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

la dosis de cemento de una mezcla dada. Se simboliza con la letra griega α

$$\alpha = \frac{A}{C}$$

Ec. 1.8 Relación agua-cemento [1]

Donde :

A, Es la cantidad de agua en kilogramos

C, Es la dosis de cemento en kilogramos

I.4 ASPECTOS GENERALES DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONCRETO EN ESTADO FRESCO.-

Como se dijo anteriormente, el microconcreto es una mezcla que está constituida por un material aglomerante denominado cemento, agua y agregado fino de tamaño máximo 3/8". Es decir, está constituido por un mortero de arena-cemento convenientemente dosificado, lo cual lo convierte en un producto pastoso y moldeable que conserva prácticamente las mismas características del concreto entre las que se encuentran, la capacidad de endurecer con el tiempo y alcanzar resistencias similares al concreto normal para edades de ensayo análogas. [4] [24]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.4.1 RELACION TRIANGULAR.-

La relación triangular involucra a tres parámetros esenciales del concreto. Estos son:

- La trabajabilidad, definida a través del asentamiento medido por el Cono de Abrams
- La relación agua/cemento, α
- Dosis de cemento

Las tres variables antes nombradas se mueven en conjunto, es por eso, que si se modifica cualquiera de ellas, automáticamente se modifican las otras dos. Estas variables están involucradas en la siguiente ecuación:

$$C = k\alpha^m T^n$$

Ec. 1.9 Relación Triangular [1]

Donde:

C, Es la dosis de cemento (Kg/m³)

α , Es la relación Agua/Cemento (Kg/Lts)

T, Es el Asentamiento en el cono de Abrams (medido en pulgadas)

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

K, m, n Son constantes que dependen de los materiales empleados los cuales fueron caracterizados para el microconcreto en un anterior Trabajo Especial de Grado¹ dando como resultado los siguientes valores:^{[1][2][4]}

$$K = 187$$

$$m. = -1.3$$

$$n. = 0.16$$

Por lo que la Ec 1.9 queda así:

$$C = 187\alpha^{-1.3}T^{0.16}$$

I.4.2 TRABAJABILIDAD.-

La trabajabilidad es uno de los componentes de la relación triangular. La misma se puede definir como la mayor o menor resistencia que ofrece el concreto en estado fresco para ser mezclado, transportado y colocado en el molde definitivo sin que se produzca segregación. La Trabajabilidad se mide a través del asentamiento del concreto, el cual es medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams.

Este método consiste en colocar una muestra de concreto dentro de un molde (Cono de Abrams) normalizado para luego, medir la

¹ AGUILAR, P. y LARES E. "Expresiones analíticas para la dosificación de microconcreto" Caracas, Octubre de 2000

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

pérdida de altura de la muestra de concreto con respecto a la altura del cono cuando este se retira. En resumen, se podría decir que una mezcla es trabajable si es pastosa y tiene fluidez. La trabajabilidad como parte de la relación triangular depende de la relación agua/cemento y de la dosis de cemento. La variación de cualquiera de estas variables influye en la trabajabilidad.^{[1][2]}

I.4.3 ASENTAMIENTO.-

El asentamiento es una medida de la trabajabilidad del concreto. En términos más sencillos, es una medida de su fluidez. Se mide a través del cono de Abrams colocando el molde a un lado del cono de concreto elaborado y tomando la diferencia de altura entre los dos. Mientras más asentamiento se tiene, el concreto tiene más fluidez; por lo que se podría decir que, asentamientos altos están asociados a concretos más fluidos y asentamientos bajos inducen a concretos poco fluidos.^{[1][26]} ver fig I.2

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

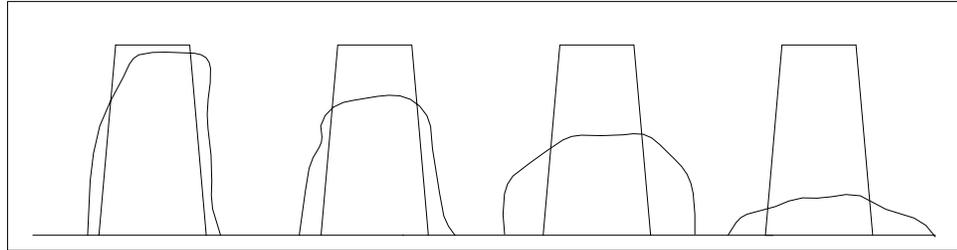


Fig 1.2 Asentamientos posibles en el ensayo del Cono de Abrams

I.4.4 FLUJO EN EL MICROCONCRETO.-

El estudio del flujo en el microconcreto es mucho más adecuado que el ensayo del cono pues, en general, el cono de Abrams se usa en concretos. Sin embargo, el flujo se determina como un complemento del ensayo del cono para corroborar los datos obtenidos de la trabajabilidad de una mezcla determinada. Este ensayo se hace de acuerdo a la Norma COVENIN 1610-80^[31] en la que se describe como se debe realizar el ensayo usando la mesa de caídas. ^{[1][31]}

$$yf = \left(\frac{de - 10cm}{10cm} \right) \times 100$$

Ec. 1.10 Cálculo del flujo por medio de la mesa de caídas [31]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Donde :

Yf, es el Flujo de la muestra expresado en porcentaje

de, es el diámetro esparcido de la muestra medido en cms

I.4.5 CONO DE ABRAMS.-

Es un equipo utilizado en el laboratorio para medir el asentamiento T de una mezcla cualquiera. El mismo, es un cono truncado cuya forma y dimensiones están normalizadas por la Norma COVENIN 339-79 ^[26]. Por medio del cono se obtiene el asentamiento de las mezclas; las cuales, al ser retirado el cono, se desmoronan por gravedad ofreciendo información muy útil sobre su trabajabilidad.

Como se ve, su uso es muy práctico y fácil. Pero hay que decir también que su uso se limita a medir asentamientos en concretos con agregados normales y que tengan plasticidad, pues estos suelen tener asentamientos entre 2cm y 17cm. Además la masa desmoldada suele ser simétrica y con la superficie superior plana. En cambio, los concretos pedregosos, al ser retirado el cono, presentan una masa caída hacia un lado.^[1]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.4.6 SEGREGACION EN EL MICROCONCRETO.-

El microconcreto es un material más homogéneo que el concreto pues el agregado que lo compone es fino. En cambio, en el concreto el agregado grueso tiende a dispersarse. Sin embargo, en el microconcreto puede ocurrir segregación debido a varias causas que se pueden evitar con un manejo adecuado de la mezcla y de sus componentes.

Entre las causas más influyentes para que una mezcla se segregue, esta una mala dosificación en la que por lo general, hay un exceso en la cantidad de agua añadida indiscriminadamente para otorgarle fluidez a la mezcla, lo cual produce un lavado de las partículas y hace que las más sólidas y pesadas de la mezcla como los agregados, se separen por efecto del material cementante. La única manera de evitar la segregación es a través de una buena dosificación de los componentes de la mezcla.^{[1] [3]}

I.4.7 FRAGUADO DEL MICROCONCRETO.-

El fraguado es el proceso en el cual, el microconcreto en estado fresco, fluido, se endurece paulatinamente. Es un proceso que ocurre en pocas horas y se inicia en el instante en que se mezclan todos los componentes del microconcreto. En la mezcla, ocurre una reacción

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

química de hidratación que hace que se pierda paulatinamente el estado plástico, lo cual desemboca en el endurecimiento del microconcreto y a largo plazo el desarrollo de resistencia. Ver fig I.3. ^[1]

[24]

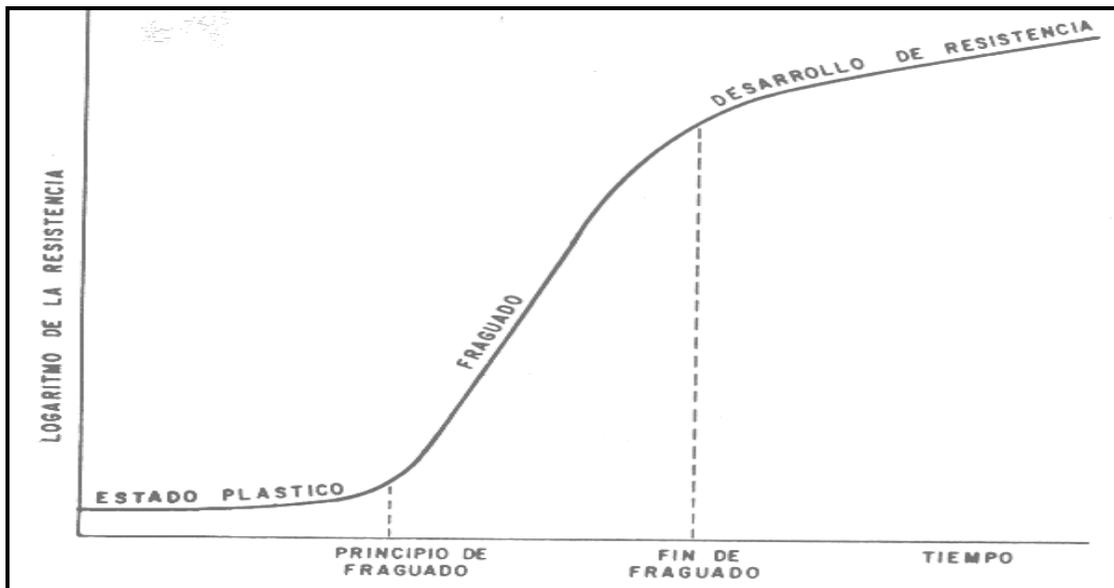


Fig I.3 Crecimiento de resistencias en las mezclas de microconcreto [4]

I.4.8 LEY DE ABRAMS.-

La ley de Abrams establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, en peso. Como se dijo anteriormente, se expresa mediante la ecuación I.8 ^[1]

I.4.9 COMPATACION DEL MICROCONCRETO.-

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

La compactación del microconcreto es necesaria para evitar que se produzcan vacíos o cámaras de aire en el molde durante el vaciado de la mezcla. Este proceso se puede realizar de dos formas: mecánico y manual. Como los moldes usados en este trabajo son pequeños, se usa el método manual, el cual consiste en dar un cierto número de golpes al microconcreto con una barra lisa.

La cantidad dada es de 25 golpes cuando la mezcla es vaciada en el molde. Usualmente la mezcla se debe vaciar en tres capas y cada una de ellas debe ser compactada. El otro método es el mecánico, para el cual se utiliza un vibrador. En todo caso, esta forma de compactación se usa cuando el volumen de concreto es mucho mayor y la barra deja de ser efectiva.^{[1] [25]}

I.4.10 CURADO DE LAS PROBETAS.-

El curado es un proceso que tiene mucha importancia, pues mediante esta operación, se evita la pérdida parcial del agua de la mezcla por efecto de la evaporación superficial y de esta manera se garantiza el desarrollo de las reacciones de hidratación del cemento.

Esta pérdida de agua provoca la aparición de fisuras en el concreto e impide el desarrollo de resistencias. Es por ello, que es

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

necesario curar el microconcreto una vez que ha sido vaciado en el molde definitivo para mejorar sus resistencias mecánicas, aumentar la resistencia al desgaste y a la abrasión.

El proceso es muy sencillo, simplemente se debe reponer el agua que se ha evaporado de la mezcla producto de las reacciones exotérmicas que se producen internamente y de las condiciones del medio ambiente. El agua se añade a la superficie del elemento de microconcreto.^[1]

I.5 RESISTENCIA DEL MICROCONCRETO.-

La resistencia del microconcreto, se estudia sometiendo probetas cilíndricas normalizadas a ensayos de compresión. Este ensayo se realiza a la edad de 28 días, contados a partir de la fecha de desencofrado de la probeta. La resistencia adquirida por la muestra, depende en gran manera de la relación agua/cemento. La misma se determina siguiendo un proceso normalizado y su valor se toma como una referencia de calidad de la mezcla elaborada.^[1]

$$R = \frac{M}{N^\alpha}$$

Ec. 1.11 Ley de Abrams para el cálculo de resistencias [1]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

donde:

R , es la resistencia promedio a una determinada edad.

M y N , Son valores que dependen de la edad del concreto, tipo de cemento y las características del agregado

I.6 ESTUDIO DE LA EXUDACION EN EL MICROCONCRETO.-

La exudación es la cantidad de agua que una mezcla puede liberar durante el proceso de fraguado, depende de la relación agua/cemento y contenido total de agua. Es decir, la variación de la exudación es directamente proporcional a la relación agua/cemento. Este fenómeno se manifiesta en el molde definitivo una vez que la mezcla ha sido compactada por el operador.

El proceso que ocurre en el seno de la mezcla se traduce como una especie de reacomodo de los componentes; de tal manera que el agua libre se pierde al asentarse los materiales más pesados (agregado y el cemento) por gravedad en el molde definitivo. En pocas palabras, la exudación de una mezcla, es como si se “exprimiera” la mezcla por lo que se libera el agua que al ser el componente menos denso de la mezcla tiende a subir. Ver fig I.4

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

El agua que sube a la superficie puede arrastrar partículas finas de cemento, por lo que la capa superior se debilita. El microconcreto tiende a volverse poroso, débil y queda sujeto a la desintegración por la futura infiltración del agua a través de estos poros. El agua que se infiltra, ataca al acero y se inicia la corrosión del mismo.

La exudación es un proceso intrínseco de la mezcla que no se puede evitar. Este fenómeno, al depender directamente de la relación agua/cemento, se manifiesta de manera más notoria cuando la mezcla es muy fluida.

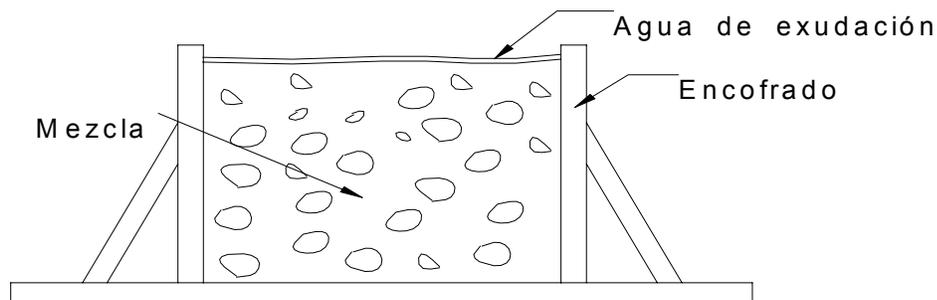


Fig I.4 Asentamiento de la mezcla en el molde y exudación

I.6.1 FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA EXUDACIÓN.-

Los principales factores que influyen en la exudación son de orden intrínseco y se relacionan directamente con el exceso de fluidez de la mezcla (alta relación agua/cemento) y el exceso de finos en la

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

arena. Por lo que si se desea minimizar este fenómeno, se deben usar mezclas que no sean tan fluidas y el agregado debe estar bien gradado. De igual modo, un exceso de vibración del concreto en el molde puede acelerar el asentamiento del agregado en general y por consiguiente, se acelera el proceso de exudación.

I.6.2 PROBLEMAS CAUSADOS POR LA EXUDACIÓN.-

Como ya se indicó, la excesiva exudación puede originar problemas en las estructuras de concreto armado. Estos problemas tienen que ver con la formación de poros cercanos a las caras de los elementos por donde puede ocurrir un proceso de infiltración de agua y atacar el acero. De igual modo, cuando la exudación se presenta en exceso, puede causar que la mezcla pierda rápidamente el agua interna; la cual, al subir a la superficie se evapora rápidamente contribuyendo así al fenómeno de retracción originando fisuras indeseables en los elementos de concreto armado.

I.6.2.1 ADHERENCIA ENTRE CAPAS.-

Como ya se ha visto, después de mezclar los componentes del microconcreto y vaciar la masa en el molde definitivo, la mezcla se asienta y hace que parte del agua de la misma salga hacia arriba, al

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ocurrir esta situación, se forma en la parte superior del elemento una capa compuesta por agua y partículas de cemento.

Esta situación es indeseable pues provoca una especie de estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie de la mezcla una capa menos resistente y durable por tener mayor concentración de agua. Por lo que al colocar una nueva capa de microconcreto la adherencia entre ellas se ve afectada por la cantidad de agua y por la debilidad de la capa inferior. Pero esta situación depende de la cantidad o magnitud de la exudación.

I.7 ESTUDIO DE LA RETRACCIÓN EN EL MICROCONCRETO.-

La retracción del microconcreto, es un fenómeno característico de este material y que actúa tanto en el concreto como en el microconcreto. Se caracteriza por el cambio de volumen que sufre el elemento a lo largo del tiempo. Esta reducción o aumento del volumen ocurre en ausencia de cargas externas.

Este fenómeno se puede dividir en dos etapas para un mejor estudio: En la primera, después de haber vaciado el concreto en el molde y aún en estado fresco, su acción es mucho mayor. Generalmente esto ocurre en las primeras horas después del vaciado

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

en el molde definitivo, principalmente debido a la pérdida de parte del agua de la mezcla por las reacciones químicas exotérmicas, por evaporación a través de la superficie libre, exudación, etc. Esto es conocido como retracción plástica o de fraguado.

En la segunda etapa, cuando el concreto ha fraguado, ocurre una retracción que es mucho menor y más lenta que la primera y actúa durante toda la vida útil de la estructura. Esta retracción es una combinación de varios tipos de retracción que están asociados a una causa en particular. Estas causas son: Por hidratación del cemento, cambios térmicos, almacenamiento de humedad, secado, carbonatación. Todas estas causas se tratan más adelante.

Cabe mencionar, que la reducción o el aumento de volumen ocurre en las tres dimensiones del elemento en estudio. Pero por conveniencia, se estudia la variación de la dimensión más larga (una sola dimensión, lineal) del elemento en cuestión. Aunque es importante recalcar que al haber una disminución del volumen, hay una reducción por igual de las tres dimensiones. Como la reducción es lineal, entonces se puede usar la siguiente ecuación:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Ec I.12 *Deformación lineal unitaria [7]*

Suele suceder que en las primeras horas al tomar las lecturas iniciales, se tenga un aumento de las dimensiones de la pieza en estudio; esto no es algo anormal, sucede porque en la probeta de microconcreto, se produce internamente una reacción exotérmica debida al calor de hidratación la cual es capaz de dilatar la probeta impidiendo su contracción.

De igual modo, esta situación se manifiesta cuando las probetas se sumergen en agua; literalmente se podría decir que el elemento se hincha. Este proceso contrario a la retracción se denomina entumecimiento. Eso significa, que la pieza de microconcreto no va a sufrir un acortamiento. Si no más bien, va a experimentar un aumento de volumen. [1] [3] [7] [8]

I.7.1 FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA RETRACCION.-

La retracción es un fenómeno causado por la contracción del gel de silicato de calcio en la pasta endurecida debido a la pérdida de humedad correspondiente al agua capilar y al agua de los

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

poros. Los factores que contribuyen para que se manifieste la retracción en mayor o menor grado son muy diversos. Es por ello que, como se indicó anteriormente, se divide el fenómeno de la retracción en dos etapas claramente definidas; retracción antes del fraguado y retracción después del fraguado.

Aunque es importante recalcar que la retracción es un fenómeno continuo cuyo desarrollo es mucho mayor en las primeras horas posterior al mezclado de los componentes del microconcreto y va haciéndose más lenta a medida que pasa el tiempo. Los factores que contribuyen a la retracción son: geometría de las piezas en estudio, condiciones ambientales, características del concreto y granulometría del agregado. ^{[1][8]}

I.7.1.1 GEOMETRIA DE LAS PIEZAS.-

La geometría de las piezas es influyente en la retracción, pues a mayor superficie libre expuesta y poca altura de la pieza, se produce una mayor pérdida temprana del agua del concreto en general; en consecuencia, se produce la retracción y aparecen las fisuras. Es importante restablecer el agua que se ha perdido para evitar los daños causados por la evaporación temprana del agua. ^[1]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.7.1.2 CONDICIONES AMBIENTALES.-

Las condiciones ambientales, engloba tres variables que son muy importantes, estas son: la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento. Cuando los climas son muy extremos, como en los climas desérticos donde se tienen altas temperaturas con baja humedad relativa y viento constante, la evaporación puede ser máxima, en consecuencia, como en el caso anterior, se debe tener cuidado de tener un buen sistema de curado para restablecer el agua a la superficie y así evitar la aparición de fisuras. ^[1] ^[8]

I.7.1.3 CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA.-

Las características del concreto son otro factor influyente en la retracción. En concretos donde hay una gran cantidad de pasta, alta relación agua/cemento, la retracción es mucho mayor que en aquellos donde existe una buena proporción de agregados, pues la estabilidad volumétrica de estos es constante, no varían. Por lo que su presencia en la mezcla tiende a reducir la retracción. *Ver Fig 1.5*

La presencia de ultrafinos como la arcilla y las partículas finas con diámetros menores o iguales a las partículas de cemento en los agregados, sumado al cemento produce una gran cantidad de finos en la mezcla que a la postre incrementan la retracción. ^[5] ^[8]

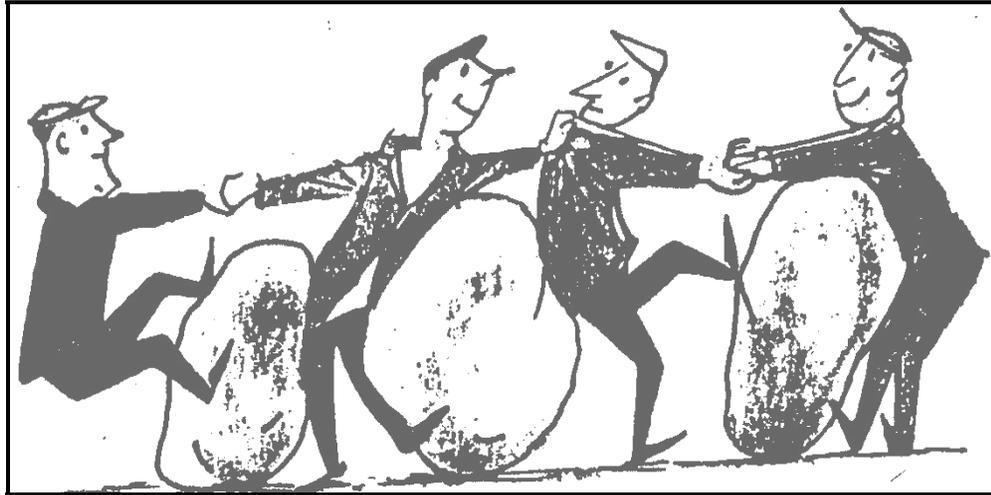


Fig 1.5 Presencia de agregados en la masa impide que esta se retraiga [37]

I.7.1.4 GRANULOMETRIA.-

La granulometría de los agregados es otro factor importante. Debido a que si existe mucha diferencia entre las partículas gruesas y finas, los espacios existentes entre estas son ocupados por la pasta de cemento. Lo que conlleva a una mayor dosificación de cemento y por consiguiente a una mayor retracción hidráulica.

En otras palabras, mientras mejor es la granulometría del agregado, buena gradación, se requiere de menor cantidad de pasta para llenar los vacíos existentes. Entre las características que más importan están la forma, textura, gradación, y la composición de los agregados. [8]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.7.2 TIPOS DE RETRACCION.-

La retracción es una sola, pero para un mejor entendimiento del fenómeno se divide en dos etapas. En la primera etapa, cuya duración esta asociada al estado fresco del concreto, ocurre lo que se denomina retracción plástica o de fraguado.

En la segunda etapa, cuando el concreto ha fraguado, la retracción continúa a lo largo de la vida del material. En esta etapa, la retracción se denomina de acuerdo al proceso interno que se sucede en el elemento de concreto. Esto es: retracción por hidratación o química, retracción por secado, retracción por carbonatación.^[7]

I.7.2.1 RETRACCION DE FRAGUADO.-

La retracción de fraguado se manifiesta en el momento en que el concreto se vierte en el molde definitivo. Generalmente esta retracción se debe a la pérdida de agua que ocurre en el concreto por exudación, por evaporación, por el calor de hidratación producto de las reacciones exotérmicas que se producen en la masa de concreto y hasta por absorción de parte del agua de la mezcla por el encofrado.^{[7] [8]}

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.7.2.2 RETRACCION POR HIDRATACION O QUIMICA.-

La retracción química ocurre cuando el agua de la mezcla pasa a formar parte de las reacciones químicas durante la hidratación del cemento. En la cual, es posible que se origine una expansión o una retracción en el elemento debido a la variación del volumen de los productos de hidratación. Esta expansión también puede ser originada por el aumento de la temperatura interna debido al calor de hidratación. ^{[3] [8]}

I.7.2.3 RETRACCION POR SECADO.-

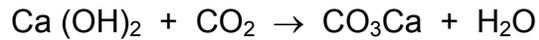
La retracción por secado, es causada por el secado y la contracción del gel de cemento que se forma por la hidratación del cemento en el transcurso del tiempo, motivado a la pérdida de humedad de la mezcla. Esta retracción es parcialmente irreversible, pues el mojar el elemento, se expande, pero no lo suficiente como para compensar la retracción por secado. Los factores que influyen sobre la retracción por secado involucra al contenido de cemento, el tamaño y la forma de los agregados, el tiempo de curado, etc. ^{[3] [8]}

I.7.2.4 RETRACCION POR CARBONATACION.-

La retracción por carbonatación, es un proceso mediante el cual se produce un deterioro superficial del concreto producto de la

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

reacción del Hidróxido de calcio con el anhídrido carbónico del ambiente:



Esta reacción de carbonatación, depende de muchos factores tales como: composición del cemento, concentración de CO_2 , humedad y temperatura.

El resultado de esta reacción química bajo ciertas condiciones de humedad ambiental, puede desencadenar un proceso de retracción que genera grietas superficiales por donde penetra mayor cantidad de CO_2 y otros contaminantes los cuales atacan el acero y producen su corrosión. [1] [7] [8]

I.7.3 ENTUMECIMIENTO.-

El entumecimiento es el aumento de volumen que presenta el concreto. Este aumento del volumen se debe en gran medida a que el mismo es curado en un ambiente constantemente húmedo, sumergido en agua, etc. La expansión máxima que puede presentar un concreto en estas condiciones por lo general es un tercio de la contracción por secado.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Por otro lado, cabe destacar que el factor más influyente en el entumecimiento es la cantidad de cemento; ya que la pasta de cemento, se expande alrededor del doble de lo que se expanden los morteros y a su vez, estos se expanden en la misma magnitud con respecto al concreto.^[3]

I.7.4 PROBLEMAS GENERADOS POR LA RETRACCION.-

Los problemas generados por la retracción son muy diversos. Estos, por lo general, se manifiestan a través de fisuras, las cuales se hacen visibles en las zonas afectadas y las mismas varían tanto en longitud como en profundidad dependiendo de la magnitud de la retracción. Los problemas empiezan a manifestarse cuando a través de esas fisuras, el agua y elementos dañinos comienzan a infiltrarse dentro del elemento.

El acero que está embutido en el elemento de concreto en presencia de la humedad que se infiltra y el oxígeno, produce una reacción química denominada corrosión, la cual va consumiendo la barra de acero paulatinamente. Se hace necesario entonces sustituir esta barra de acero y buscar una solución práctica para evitar la corrosión del resto de las barras de acero.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.8 REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.-

La reparación de estructuras de concreto armado se realiza cuando se producen fallas o daños estructurales durante la construcción o posteriormente cuando la estructura esta en servicio. Estos daños pueden ser originados por causas internas, como el uso de materiales de baja calidad, y externas al concreto como un ambiente agresivo, errores de ejecución, incendios, sismos, etc.

Es por ello que ha surgido toda una ciencia para tratar este tema llamada patología de estructuras o estudio de las deficiencias, accidentes y causas que originan daños en las estructuras. Los métodos utilizados para reparar estructuras, son tan amplios como los daños que las afectan. Precisamente uno de los métodos utilizados para la reparación de algunos daños estructurales es el microconcreto.

El cual, se utiliza para reparar estructuras de concreto armado y específicamente elementos estructurales que se han visto afectados por corrosión del acero de refuerzo, orificios originados en la extracción de núcleos, caída de recubrimiento por corrosión del acero o por humedad y las cavidades (cangrejeras) originadas por una mala compactación del concreto durante el vaciado. ^{[9][13] [14]}

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.8.1 PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.-

La patología del concreto armado, tiene el único fin de estudiar las causas que originan daños en las estructuras para posteriormente proceder a su reparación. Las causas que originan estos daños, son muy diversas. Pero se podrían clasificar como causas internas y causas externas. Entre las causas internas que originan problemas en las estructuras se tiene, el uso de materiales deletéreos en la construcción, la retracción hidráulica del concreto, entre otros.

Por causas externas se tienen problemas tales como asentamientos diferenciales, ambiente agresivo, sismos, etc. estas son solo algunas de las razones que originan daños como los agrietamientos, corrosión del acero de refuerzo, desprendimientos, cangrejas, etc.

Todas estas causas tienen un origen en común, el error humano, y pueden suceder en cualquiera de las fases de un proyecto constructivo (Planificación, proyecto, materiales, ejecución y uso de la estructura). Es importante tener mucho cuidado en toda estas etapas para minimizar los problemas, se debe llevar un control de todos los procesos por parte de un inspector.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Cuando no se tiene un control preciso sobre cualquiera de los puntos antes citados de las fases de un proyecto, ocurren problemas en las estructuras. En ese caso, se debe seguir una serie de pasos antes de proceder a la reparación de las estructuras para determinar las causas que originaron los daños y el método más adecuado para la reparación. Estos pasos por lo general son los siguientes:^{[9][11][12][15]}

- Inspección inicial para conocer el problema
- Levantamiento de daños
- Estudio de las causas que produjeron los daños
- Estudio de los efectos de los daños sobre la estructura (seguridad estructural)
- Recomendaciones para la reparación o demolición.

I.8.2 USO DEL MICROCONCRETO EN LA REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.-

Justamente uno de los objetivos específicos de este Trabajo Especial de Grado, es el de estudiar mezclas de microconcreto para su uso en la reparación de estructuras de concreto armado cuyo acero corroído se ha recuperado y sustituido. De igual modo, se usa este material para rellenar elementos estructurales que han sido

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

sometidos a estudios de resistencia a través de la extracción de núcleos o por una deficiente manipulación del concreto que genera vacíos o cangrejas y cualquier otro tipo de recuperación estructural.

El uso del microconcreto para reparar este tipo de anomalías es muy adecuado puesto que con mezclas de microconcreto, se obtienen resistencias iguales o superiores a concretos de alta resistencia. Además, porque su manejo es mucho más sencillo que el concreto, debido a que éste tiene agregados gruesos y se hace difícil el buen mezclado de sus componentes de forma manual. Considerando que el volumen de mezcla requerido, para la reparación de los daños producidos por lo general, es pequeño; aunque puede suceder, que se requiera mayor cantidad como el caso del concreto proyectado. ^{[3][16]}

I.8.3 REQUISITOS QUE SE DEBE CUMPLIR PARA LA REPARACION CON MICROCONCRETO.-

La reparación de los daños estructurales debe cumplir con varios requisitos. Esto se hace con el fin de que no existan diferencias entre la estructura y la parte de ésta que se somete a la reparación por muy pequeña que sea. Los requisitos más importantes son los siguientes:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- La reparación debe adherirse de manera permanente y por completo al concreto adyacente.
- Se debe curar debidamente la reparación efectuada para evitar el agrietamiento de la misma.

I.8.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MICROCONCRETO.-

El microconcreto es un material muy práctico para la reparación de áreas afectadas por algún daño en estructuras de concreto armado. Pero como todo material en la industria de la construcción, posee algunas ventajas y desventajas.

I.8.4.1 VENTAJAS DEL MICROCONCRETO EN LA REPARACION.-

A continuación se nombran algunas de las ventajas que posee el microconcreto como material de reparación en daños estructurales:

- Tiene el mismo color del elemento a reparar.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Adquiere resistencias iguales o superiores como en concretos de alta resistencia.
- Durable en el tiempo.
- Se puede mezclar manualmente.
- Al utilizarse en el concreto proyectado, se pueden cubrir grandes extensiones.

I.8.4.2 DESVENTAJAS DEL MICROCONCRETO EN LA REPARACION.-

A continuación se nombran algunas de las desventajas que posee el microconcreto como material de reparación en daños estructurales:

- Puede sufrir fisuración si no se cura debidamente

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- La dosificación debe ser adecuada porque puede ocurrir que la reparación efectuada no se adhiera a la superficie del concreto y puede ocurrir desprendimiento.
- Los agregados que contienen muchos finos y ultrafinos, producen en la mezcla un incremento en la retracción.
- Si está mal dosificado se puede segregar
- Los materiales utilizados deben ser de calidad para evitar problemas futuros.

I.8.5 PREPARACION DEL AREA AFECTADA.-

Antes de realizar cualquier tipo de reparación sobre las estructuras, se debe someter el área de la reparación a una minuciosa limpieza. Esto se hace para garantizar que la zona de trabajo, esté libre de cualquier impureza que impida la completa adherencia del microconcreto. ^[3]^[9]^[13]

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Las acciones que se deben llevar a cabo para limpiar el área son:

- Limpiar bien el hollín o cualquier otra partícula que haya sido depositado en la zona por el viento.
- Se debe escarbar con un cincel, o un taladro la zona para que el microconcreto tenga superficie adecuada para su agarre.
- La zona de reparación debe mojarse constantemente antes del vaciado de la mezcla para que no absorba el agua de ésta y contribuya a la retracción.
- En el caso de los agujeros provocados por la extracción de núcleos, se deben crear rugosidades en las paredes del agujero, con un cincel, para permitir el agarre de la reparación. De igual modo, antes de rellenar el agujero, se debe mojar el concreto para que no absorba el agua del microconcreto.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Al sustituir cabillas corroídas se debe limpiar correctamente la zona adyacente al acero que se va a reemplazar para evitar futuros problemas.

MARCO METODOLOGICO

II.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO.-

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

En el Marco Metodológico, se indican todos los trabajos que se realizaron antes, durante y después de realizar todos los ensayos correspondientes y las estrategias empleadas para resolver los problemas planteados y surgidos durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado. Todos los materiales empleados fueron adquiridos en Caracas. Se contactaron diversas casas comerciales, tales como: distribuidoras de materiales de construcción, ferreterías, materiales odontológicos, etc. Los materiales utilizados fueron: arena natural, cemento, agua y yeso dental.

II.2 DESCRIPCION DE MATERIALES EMPLEADOS

II.2.1 AGREGADO FINO

El agregado que se usó para elaborar las mezclas es arena natural de río, adquirida en una distribuidora de materiales de construcción. El lugar de origen de la arena está ubicado en las cercanías de la localidad de Paracotos.

Para hacer los ensayos, se compró un metro y medio (1 ½) cúbico de arena. La cual, fue puesta a secar en un patio de secado por un lapso aproximado de un mes; tiempo a partir del cual, se comenzó el proceso de embolsado del agregado; teniendo cuidado de

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

que cada bolsa tuviese el material representativo del total. Esto es, sin segregación, pues ello acarrearía resultados erróneos y por supuesto no compatibles con los objetivos específicos planteados para el desarrollo de esta investigación.

II.2.2 CEMENTO

El cemento usado fue el Pórtland Tipo I. Al igual que la arena, se adquirió en una distribuidora de materiales de construcción. La cantidad de sacos adquiridos fue de diez; tal cantidad, se obtuvo a través del diseño de mezclas, el cual es necesario hacer previamente para determinar cuánto se requiere de cada material.

Al cemento adquirido, no fue necesario hacerle ningún tipo de ensayo para verificar su calidad; simplemente se tuvo cuidado en que todos los sacos estuviesen bien cerrados, que fuesen de la misma marca comercial (LAFARGE-cementos La vega) y lo más importante, que fuesen del mismo lote (Nº 103). También se verificó que el lote fuese de reciente fabricación.

II.2.3 AGUA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

El agua usada es potable y fue suministrada por HIDROCAPITAL a través de su red de distribución. Es importante no usar como agua de mezclado, aquella cuya procedencia sea dudosa; ya que podría estar contaminada y ello afectaría a la resistencia del microconcreto. Si el agua no es potable, se deben realizar los ensayos necesarios antes de usarla, tanto físicos como químicos para determinar su composición. En todo caso, para evitar estos inconvenientes lo más prudente es usar el agua potable.

II.2.4 YESO DENTAL

El yeso dental se usó para el refrentado de las probetas que fueron sometidas al ensayo de compresión. El uso de este producto, se debe a las ventajas que ofrece gracias a su rápido fraguado y a las grandes resistencias que alcanza en minutos; al contrario del mortero, el cual no tiene las mismas características y por lo tanto, su uso sería contraproducente si lo que se desea es ganar tiempo.

Las características de este producto fueron suministradas por la casa comercial que expende este material y las cuales se describen a continuación:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.1 Cilindro refrentado listo para el ensayo de compresión

- Tiempo de fraguado: 10 ± 2 minutos
- Expansión al fraguado: 0.15% Después de dos horas
- Resistencia a la compresión después de una hora: 390 Kg/cm^2

II.3 EQUIPO UTILIZADO

Los siguientes son las herramientas básicas usadas para trabajar durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

- Balanzas ($\pm 0.1 \text{ g}$)
- Balanza cap ($75 \pm 0,5$) Kg
- Bandeja de secado
- Barra de acero ($3/8''$ y $5/8''$)

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Batidora para mezclas pequeñas
- Bolsas plásticas para embolsar arena
- Carretilla rueda de goma
- Cinta métrica
- Cono de Abrams
- Cucharas de albañil
- Moldes para probetas cilíndricas ($\phi 15$ x h30) cm, probetas prismáticas (2,5x2,5x28)cm y Recipiente metálico para la exudación de ($\phi 20$ x h 25) cm.
- Guantes de látex
- Horno eléctrico
- Manguera
- Medidor de aire en concreto
- Mesa de caídas
- Mezcladora de eje vertical
- Nivel de burbuja
- Prensa universal de ensayo
- Rótula
- Tamices
- Tamizadora
- Tanque de curado

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Taras calibradas A,B,C.
- Vernier
- Cono pequeño de bronce
- Picnómetro
- Extensómetro (± 0.0001 pulg)

Foto II.2 Mezcladora de eje vertical



Foto II.3 Equipo para determinar el aire atrapado en la mezcla

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.4 Tamizadora mecánica



Foto II.5 Balanza cap ($75 \pm 0,5$) Kg

II.4 ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES

Todos los materiales usados en esta investigación fueron almacenados en lugares seguros, para evitar su contaminación y daño por parte de agentes externos como la humedad, etc. En el caso del cemento, se tuvo el cuidado en almacenar las bolsas en un lugar seco y aislado del suelo para evitar la humedad. Además las bolsas se cubrieron con un plástico para evitar la humedad ambiental.

El agregado fue sometido a un proceso de secado natural; para lograr esto, una vez adquirido el agregado fue extendido en una piscina de secado de aproximadamente tres por cuatro metros y de una altura promedio de 20 cms. El agregado fue removido diariamente para liberar la humedad superficial de los granos de arena.

Al cabo de un mes cuando la arena se observó seca, se continuó con el proceso de embolsado, pesado e identificación de cada una de las bolsas, para luego hacer un control de humedad previo a la elaboración de las mezclas. En el Anexo C se muestra el registro de peso y humedad de cada bolsa utilizada en las mezclas durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

II.5 ENSAYOS REALIZADOS A LOS MATERIALES

Todos los ensayos realizados en este Trabajo Especial de Grado se basaron en las Normas COVENIN, aunque es conveniente indicar que se consultaron algunas normas de la ASTM¹ y de la A.C.I.² para comparar la similitud del proceso que se describe en cada una de ellas con las normas venezolanas. Solo se hicieron ensayos al agregado fino, y a las mezclas elaboradas; el cemento y al agua no requirieron ensayos normalizados.

Propósito	Descripción	Código COVENIN
Análisis del agregado	Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos	255-77
	Método de ensayo para la determinación por suspensión de partículas menores de 20 micras en agregados finos	259-77
	Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino	268-78
	Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos	270-78
	Agregados para concreto. especificaciones	277-92

Tabla II.1.A Ensayos efectuados para analizar el agregado

¹ A.S.T.M.: American Society for Testing and Materials.

² A.C.I.: American Concrete Institute

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Análisis del Microconcreto	Cemento Pórtland. Especificaciones	28-93
	Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto	338-1994
	Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams	339-78
	Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el concreto fresco por el método volumétrico	347-79
	Método para mezclado de concreto en el laboratorio	354-79
	Método de ensayo para determinar el flujo de concreto por medio de la mesa de caídas	1610-80
	Agua de mezclado para concretos y morteros. Especificaciones	2385-86

Tabla II.1. B Ensayos efectuados para analizar el Microconcreto

Análisis de la exudación y la retracción	Método de ensayo para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento y en concreto	346-79
	Método de ensayo para determinar la exudación del concreto	353-79

Tabla II.1. C Ensayos efectuados para analizar la exudación y la retracción en el Microconcreto

II.6 DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROCONCRETO

El diseño de mezcla se realiza para determinar las cantidades de los componentes del microconcreto. Para hacer el diseño de mezcla, es necesario analizar previamente el agregado que va a ser usado. Esto significa, que al agregado se le deben determinar la mayor cantidad de características posibles para proceder a realizar las mezclas. Como se dijo anteriormente, al cemento y al agua no se le hicieron análisis de ningún tipo.

II.6.1 ANÁLISIS DEL AGREGADO

El agregado que ha sido embolsado, antes de ser utilizado, debe ser sometido a una serie de análisis para determinar sus características principales. Estas características son: la granulometría, las partículas en suspensión, el peso específico y la absorción del árido en estudio.

II.6.1.1 GRANULOMETRIA

La granulometría del agregado se analizó de acuerdo a la Norma COVENIN 255-77^[18] dando como resultado un tamaño máximo de 3/8". Para obtener la muestra representativa del agregado en estudio, se utilizó lo expuesto en la Norma COVENIN 270-78^[21], esa

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

muestra representativa se obtuvo por cuarteo tal como lo indica la citada norma. Se hicieron un total de 3 granulometrías del agregado en estudio las cuales se muestran resumidas en la siguiente tabla:

Tamiz		Porcentaje de Agregado Pasante	Porcentaje de Agregado Pasante	Porcentaje de Agregado Pasante
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Pulg	mm	%	%	%
1/2	12,7	100	100	100
3/8	9,53	98	99	98
1/4	6,35	88	85	80
4	4,76	78	75	67
8	2,38	61	55	47
16	1,19	43	39	32
30	0,595	30	27	23
50	0,298	19	15	14
100	0,149	6	8	5

Tabla II.2 Porcentaje de pasante en cada dedazo luego de realizar la granulometría de las muestras



Foto II.6 Juego de tamices colocados en cascada

Las granulometrías se pueden apreciar con más detalles en la sección de anexos, Anexo A , con su respectivo gráfico.

II.6.1.2 DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico y la absorción se analizaron según los pasos indicados en la Norma COVENIN 268-78^[20] dando como resultado los valores expuestos en la tabla II.3 Dichos valores se obtuvieron a través del promedio de tres ensayos hechos en el laboratorio.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Ensayo realizado		Valores obtenidos	
Peso específico	γ	2,58	Kg/m ³
Absorción	Abs	1,57	%

Tabla II.3. Peso específico y Absorción del agregado fino

II.6.1.3 PARTICULAS EN SUSPENSIÓN

Se hizo el estudio de partículas en suspensión al agregado de acuerdo a lo descrito en la Norma COVENIN 259-77^[19] en la que se describe el proceso paso a paso. El resultado del análisis arrojó un valor de 5.2 % lo cual indica que el agregado utilizado para hacer las mezclas tiene muchas partículas menores de 20 micras en suspensión. Sin embargo, este exceso de partículas no es un criterio influyente de aceptación y rechazo del agregado en cuestión. Pero su presencia en la mezcla incrementa la cantidad de pasta con lo cual la resistencia puede verse afectada.

Muestra	S	S promedio
	%	%
M2-A	5.0	5.2
M29	5.4	

Tabla II.4 Resultados del ensayo de partículas en suspensión NC 259-77 [19]



Foto II.7 Ensayo de partículas en suspensión

II.6.2 DETERMINACION GENERAL DE LA DOSIFICACIÓN PARA MEZCLAS DE MICROCONCRETO

A continuación, se describe paso a paso el cálculo de la dosificación de las mezclas. Cabe destacar que se realizaron doce mezclas, tres de las cuales se elaboraron con el agregado pasante del tamiz de $\frac{1}{4}$ ". A cada una de las mezclas anteriores se le asignó para el diseño una cantidad de cemento, dosis, C y la relación agua-cemento las cuales fueron tomadas del Trabajo Especial de Grado sobre microconcreto mencionado en el capítulo I. Estos son los siguientes:

Mezcla	Cantidad de cemento	Relación agua-cemento
M	C	α
M1	10	0,60
M2		0,65
M3		0,70
M4	12	0,63
M5		0,56
M6		0,60
M7	14	0,55
M8		0,48
M9		0,52
M10-T	10	0,70
M11-T	12	0,60
M12-T	14	0,52

Tabla II.5 Dosis de cemento y relación agua/cemento para las mezclas de microconcreto [4]

II.6.2.1 CONDICIÓN DEL AGREGADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA, A_{ss}

El agregado se debe calcular en la condición ideal de saturado con superficie seca, para que no absorba, ni añada agua a la mezcla durante el mezclado de los componentes. El proceso consiste en los siguientes pasos:

Determinar:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- A Número de sacos, C
- B Cantidad de agua por m^3 por medio de la relación agua/cemento
- C Cantidad de agregado a través de la Ecuación Volumétrica
- D Conversión de la dosificación para el volumen de cálculo requerido sin corregir por humedad.

II.6.2.2 DETERMINACION DE LA HUMEDAD PONDERADA DEL AGREGADO

Al realizar las mezclas, se debe utilizar más de una bolsa de arena por mezcla; esto se hace con el fin, de disminuir la posible segregación que haya podido sufrir el agregado durante el proceso de secado y embolsado descrito anteriormente. En este, caso se usó dos bolsas de arena por cada mezcla.

Por lo tanto, cada bolsa va a contener un cierto porcentaje de humedad, el cual debe ser determinado, y no por ser el mismo agregado tiene que tener necesariamente la misma humedad. Esto va a depender de la humedad que tenía el agregado al momento de su embolsado, la humedad ambiental y la temperatura, etc. Como por lo general, no es la misma humedad se hace necesario determinar una

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

humedad ponderada de las dos bolsas en cuestión. Para lograr esto, se sigue el siguiente proceso:

- A Se debe determinar la humedad del agregado de cada bolsa.
- B Se pesa la arena que hay en cada bolsa
- C Se determina la humedad ponderada con la respectiva ecuación.

II.6.2.3 CORRECCION DEL AGREGADO POR HUMEDAD

Cuando se ha determinado la humedad ponderada de los agregados que van a ser utilizados en la mezcla, se procede a ajustar la cantidad de agregado. Usando la siguiente ecuación.

$$\frac{P_{sss}}{(100 + Ab)} = \frac{Ph}{(100 + H_{pond})}$$

II.6.2.4 CORRECCION DE LA CANTIDAD DE AGUA

Al término de la corrección del agregado, se continúa con el ajuste de la cantidad de agua a través de la ecuación siguiente:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

$$A_{corr} = A_{sss} + (P_{sss} - Ph)$$

II.6.2.5 DISEÑO DE UNA MEZCLA DE MICROCONCRETO

PASO A PASO

A continuación se muestra el cálculo de la mezcla M3 siguiendo los pasos anteriores. El agregado se asume saturado con superficie seca.

A.- Se calcula previamente el valor de Peso específico y la absorción del agregado en estudio. También se fija un valor de aire atrapado para poder usar la ecuación volumétrica. Esto es:

$$\gamma_{\text{agregado}} = 2.58 \text{ Kg/m}^3$$

$$A_b = 1.6 \%$$

$$V_{\text{aire}} = 2\%$$

B.- Conforme a lo dicho en líneas precedentes se fija el valor de C y de α .

$$C = 10 \text{ Sacos}$$

$$\alpha = 0.70$$

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

C.- Cálculo de la cantidad de cemento por m^3

$$C = 10 \text{ sacos} \times 42.5 \text{ Kg/ saco}$$

$$C = \mathbf{425 \text{ Kg/m}^3}$$

D.- Determinación de la cantidad de agua por m^3

De la relación agua-cemento se despeja A y queda:

$$\alpha = A / C$$

$$A = \alpha \times C$$

$$A = 0.70 \times 425$$

$$A = \mathbf{298 \text{ Kg/m}^3}$$

E.- Determinación de la cantidad de agregado a través de la ecuación volumétrica

$$P_{\text{agregado}} = \gamma_{\text{agregado}} [1000 - (Cx0.3 + V_{\text{agua sss}} + V_{\text{aire}})]$$

$$P_{\text{agregado}} = 2.58 \times [1000 - (425 \times 0.3 + 298 + 20)]$$

$$P_{\text{agregado}} = \mathbf{1434 \text{ Kg/m}^3}$$

F.- Cálculo de dosis necesaria sin correcciones por humedad

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Hasta este momento, se tiene la cantidad de agua, cemento y agregado que va a ser usado en una mezcla total de un mil litros (1000); sin embargo, es necesario llevar estas cantidades, a las cantidades reales que se van a usar en cada mezcla.

Para ello, se calcula el volumen de todas las probetas que se van a vaciar por mezcla; este volumen corresponde a tres cilindros normados para compresión según Norma COVENIN 338-1994^[25], seis probetas para retracción según Norma COVENIN 346-79^[27], una probeta para exudación descrita en la Norma COVENIN 353-79^[29]. y lo correspondiente al flujo del microconcreto en la Norma COVENIN 1610-80^[31].

El volumen total corresponde a 28 litros de concreto más un 10% incluido que se hace de más para solventar cualquier eventualidad. Lo anterior se resume en la tabla II.6

Ensayo	Edad	Número de probetas	Volumen total de mezcla por ensayo	Volumen total de microconcreto +10%
	Días		L	L
Compresión	28	3	15,90	28,00
Exudación	1	1	7,85	
Retracción	1	6	1,05	
Flujo	1	1	0,29	

Tabla II.6 Volumen total de micro concreto para los ensayos realizados

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Con el volumen definitivo, se recalculan las cantidades de los componentes del microconcreto. Arena, cemento y agua usando el factor de conversión de volumen siguiente:

$$f = \frac{28}{1000} = 0.028$$

Así, se tiene que:

$$C = 425 \times 0.028 = 11.90 \text{ Kg}$$

$$A = 297.5 \times 0.028 = 8.3 \text{ Kg}$$

$$Ag = 1434.1 \times 0.028 = 40.15 \text{ Kg}$$

G.- Obtención de la humedad ponderada

Para tener una mezcla óptima, es preciso afinar mucho más los cálculos. En tal sentido, se debe obtener la humedad del agregado en cuestión. Esta humedad, se calculó mediante un promedio de humedades de dos bolsas (promedio ponderado).

Como se dijo anteriormente, se hizo un control de humedad del agregado previo a cada mezcla, todas estas humedades están reflejadas en el anexo C, en el que aparece cada bolsa de agregado identificado con un número y la humedad correspondiente a esa bolsa justo antes de hacer la mezcla. El cálculo para M3 fue el siguiente:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

BOLSA	Unidad	Bolsa	Bolsa
		1	2
Peso de la bolsa	Kg	25,45	26,25
Peso de la mtra húmeda	g	507,6	507,6
Peso de la mtra seca	g	505,9	505,8
Humedad	%	0,34	0,36

Tabla II.7 Ejemplo de control de humedad del agregado fino por bolsa

La humedad de la bolsa N° 1 se calcula así:

$$h = \left(\frac{\text{Mtra Húmeda} - \text{Mtra Seca}}{\text{Mtra Seca}} \right) \times 100$$

$$h = \left(\frac{507.6 - 505.9}{505.9} \right) \times 100 = 0.34 \%$$

Debe recordarse que el agregado utilizado una vez adquirido se puso a secar en la piscina de secado y luego fue embolsado, etiquetado y pesado; el peso promedio de cada bolsa es de 27 Kg aproximadamente.

La humedad del agregado en cada una de las bolsas no tiene porque ser la misma; es por ello, que al usar dos o más bolsas para realizar una mezcla, se hace necesario calcular no sólo la humedad

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

de cada bolsa, sino más bien, la humedad ponderada la cual se debe calcular así:

$$H_{pond} = \frac{\sum H_{bolsa(i)} \times peso_{bolsa(i)}}{\sum Peso_{de\ bolsas}}$$

$$H_{pond} = \frac{25.45 \times 0.34 + 26.25 \times 0.36}{51.7} = 0.35 \%$$

Las humedades ponderadas del resto de las bolsas se pueden ver en el anexo D

H.- Corrección del agregado

Ahora que ya se tiene la humedad ponderada, se debe corregir por humedad la cantidad de agregado y de agua. La cantidad de agregado se corrige así:

$$\frac{P_{sss}}{(100 + Abs)} = \frac{Ph}{(100 + H_{pond})}$$

$$Ph = \frac{P_{sss} \times (100 + H_{pond})}{(100 + Abs)}$$

$$Ph = \frac{1434.1 \times (100 + 0.35)}{(100 + 1.57)} = 1417 \text{ Kg/m}^3$$

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

I.- Corrección de la cantidad de agua

La corrección de la cantidad de agua es una operación mucho más sencilla y se realiza una vez que se ha determinado la humedad ponderada del agregado. Esto se calcula así:

$$A_{corr} = A_{sss} + (P_{sss} - P_h)$$

$$A_{corr} = 298 + (1434 - 1417)$$

$$A_{corr} = 315 \text{ Kg/m}^3$$

J.- Conversión de la dosis calculada para 28 litros de mezcla con los agregados y el agua corregidos por humedad

Aplicando el factor de corrección calculado en el apartado F. Se tiene que:

$$C = 425 \times 0.028 = 11.90 \text{ Kg}$$

$$A = 315 \times 0.028 = 8.82 \text{ Kg}$$

$$A_g = 1417 \times 0.028 = 39.67 \text{ Kg}$$

Todo este proceso está resumido en la tabla de diseño de mezcla que aparece en el Anexo F de Diseño de mezclas

II.6.3 ELABORACION DE LAS MEZCLAS

La elaboración de mezclas consiste en poner a prueba el diseño de mezcla. Para hacer las mezclas se debe tener en cuenta, no solo los pasos anteriormente indicados, sino también, se debe diseñar una estrategia para poder realizar con la misma mezcla todos los ensayos deseados. Es por ello, que la primer mezcla hecha se denominó “PRUEBA” y sirvió justamente como eso; una prueba para determinar la forma y el orden en que se van a realizar los ensayos.



Foto II.8 Compactación de la mezcla en el molde

Como se recordará estos ensayos son: trabajabilidad, exudación, retracción y compresión. Una vez hecha esta mezcla de prueba y siguiendo los pasos indicados en las respectivas normas, se tomó la

decisión de analizar la mezcla en la siguiente secuencia: asentamiento, exudación, retracción, compresión y posteriormente el flujo.^[30]

II.6.3.1 VACIADO DEL MICROCONCRETO EN LOS MOLDES

Antes de hacer la mezcla, es importante colocar aceite a las paredes internas de los moldes definitivos destinados a compresión y retracción . Esto, para impedir que la mezcla se adhiera a las paredes del molde una vez que ha fraguado. Cuando ya se tiene lista la mezcla para ser colocada en los moldes, se debe recordar que la colocación de la mezcla se hace por capas; cada una de las cuales se debe compactar con 25 golpes. Esto se cumple para los moldes cilíndricos (ϕ 15 x h 30) cm y los de retracción (2,5x2,5x28) cm.

II.6.3.2 CURADO DE LAS PROBETAS

Cuando ya se han vaciado todas los moldes, se debe añadir agua a la superficie de las mezcla, para restituir el agua que pudo haberse evaporado, y se cubre con un plástico para mantener el agua en la superficie el mayor tiempo posible. Esto es válido solo para los moldes de retracción y compresión. A la exudación no es necesario añadirle agua puesto que justamente lo que se desea es determinar el agua superficial.



Foto II.9 Cilindros en la piscina de curado

II.6.3.3 DESENCOFRADO DE LAS PROBETAS

Pasadas las 24 horas de haber colocado el microconcreto en los moldes de retracción y compresión, se procede a retirar las probetas de los mismos. Teniendo el debido cuidado de no romperlas para no tener que repetir la mezcla desde un principio. Al retirar las probetas de los moldes, se identifican de manera apropiada y se procede tal cual como lo indica la norma para cada uno de los análisis que se desean realizar.

II.7 ANÁLISIS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

El microconcreto elaborado se analizó en estado fresco mediante la trabajabilidad de las mezclas elaboradas; y en estado endurecido, mediante la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a la

edad de 28 días. Esto para garantizar la calidad de la mezcla. Estos ensayos se describen a continuación.

II.7.1 ESTADO FRESCO. ESTUDIO DE LA TRABAJABILIDAD Y CONTENIDO DE AIRE EN LA MEZCLA

La trabajabilidad del microconcreto, se estudia a través del cono de Abrams y del ensayo de flujo en la mesa de caídas. El contenido de aire en la mezcla se determina mediante el método volumétrico.

II.7.1.1 CONO DE ABRAMS

Mediante el Cono de Abrams, se determinó el asentamiento de la mezcla. Este es un proceso sencillo mediante el cual, se puede apreciar cuan trabajable y fluida es una mezcla en particular. Este ensayo se hace, como se dijo anteriormente, siguiendo los pasos que se indican en la Norma COVENIN 339-78^[26].

Cabe recordar, que a mayor asentamiento, mayor trabajabilidad y más fluidez en la mezcla. Pero siempre, se debe tener cuidado de la cantidad de agua que se añade a la mezcla; pues esto podría provocar la segregación de los agregados en la mezcla. Lo contrario, produce mezclas poco manejables. Los resultados de este ensayo se muestran en la tabla II.8 A y tabla II.8 B.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.10 Medición del asentamiento

Mezcla	Sacos	Relación agua/cemento	Asentamientos	
			T	
	C	α	cm	Pulgadas
M1	10	0,60	2,9	1 1/8
M2		0,65	14	5 1/2
M3		0,70	24,1	9 1/2
M4	12	0,63	22,9	9
M5		0,56	14	5 1/2
M6		0,60	20,3	8
M7	14	0,55	21,6	8 1/2
M8		0,48	8,9	3 1/2
M9		0,52	17,5	6 7/8

Tabla II.8.A Resultados del asentamiento para cada mezcla con agregado tamaño máximo 3/8"

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Mezcla	Sacos	Relación agua/cemento	T	
	C	α	Cm	Pulgadas
M10-T	10	0,70	16,2	6 3/8
M11-T	12	0,60	15,2	6
M12-T	14	0,52	11,4	4 1/2

Tabla II.8.B Resultados del asentamiento para cada mezcla con agregado tamizado pasante 1/4"

II.7.1.2 FLUJO

El flujo, es otra manera de estudiar la trabajabilidad de una mezcla de microconcreto. Este ensayo se hace siguiendo los pasos indicados en la Norma COVENIN 1610-80^[31] y se hace a través de la mesa de caídas. De igual manera, que para el cono de Abrams, a mayor porcentaje de fluidez se tiene una mezcla más trabajable y a menor porcentaje, se tiene lo contrario.



Foto II.11-A Ensayo de flujo

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.11-B Ensayo de flujo-mesa de caidas



*Foto II.11-C Ensayo de flujo-medidas
diámetro esparcido*

Se coloca una pequeña muestra de mezcla en la mesa y se somete a la misma al ensayo descrito en la Norma. Luego, con una cinta métrica, se mide el diámetro esparcido de mezcla en la mesa. En la tabla II.9 se muestran los diámetros obtenidos para M1.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

N° de lecturas	Mezcla	Diámetro
		cm
1	M1	17,0
2		16,5
3		16,0
4		16,5
5		18,0
6		17,5

Tabla II.9 Lecturas de diámetros obtenidos para el ensayo de flujo según la NC 1610-80 en la mezcla M1 [31]

Luego, se obtiene el promedio de las lecturas obtenidas y se calcula el flujo de esta manera:

Promedio de lecturas $d_e = 16.92 \text{ cm}$

$$yf = \left(\frac{d_e - 10\text{cm}}{10\text{cm}} \right) \times 100$$

$$yf = \left(\frac{16,92 - 10\text{cm}}{10\text{cm}} \right) \times 100$$

$$yf = 69 \%$$

II.7.1.3 CONTENIDO DE AIRE

El contenido de aire atrapado en la mezcla se determina a través del método volumétrico descrito en la Norma COVENIN 347-79^[28]. Se hace para corroborar el valor empleado de 2% en la ecuación volumétrica del diseño de mezcla. Se preparó una mezcla de

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

microconcreto y se introdujo en el recipiente de ensayo. Luego, se compacta la muestra con veinticinco golpes en tres capas, al finalizar esto, se enraza y se coloca la parte superior del aparato de ensayo.

Por la parte superior se introduce un embudo especial, de cuello largo, hasta que llegue a tocar levemente el microconcreto, se introduce el agua hasta que llegue lo más cerca posible a la marca cero, se retira el embudo y se añade el resto del agua que falta hasta la marca cero. Se tapa, el equipo, herméticamente para evitar las fugas de agua, entonces se agita el aparato tal como se describe en la norma, al finalizar este proceso, se deja reposar la muestra y se observa la lectura obtenida.

Lo que ocurre luego, es que al agitar la mezcla, el agua ocupa el lugar de las burbujas de aire y disminuye en la marca. El valor obtenido en este ensayo es de 2% como se esperaba. ^[28]

II.7.2 ESTADO ENDURECIDO. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión, se hace de acuerdo a la Norma COVENIN 338-94 ^[25] a la edad de 28 días. Cuando las probetas cilíndricas son retiradas de los moldes, después de 24 horas de

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

vaciado, se identifican con el tipo de mezcla y la fecha de desencofrado, se colocan en la piscina de curado y se esperan 28 días. Tiempo a partir del cual, se retiran del ambiente de curado.



Foto II.12 Falla de cilindro sometido a compresión

Las probetas retiradas del agua, se refrentan con yeso dental. Esto para garantizar el paralelismo de las tapas del cilindro. Se espera a que el yeso fragüe y luego, se pesan y se miden con un vernier, tres veces el diámetro y tres veces la altura del cilindro, para tener un promedio de lecturas. Este proceso se muestra resumido en la siguiente tabla II.10 para la mezcla M2.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Mezcla	Cilindro	Peso	Diámetro	Diam Promedio	Altura	Altura Promedio
		P	d	d	h	h
		Kg	cm	cm	cm	cm
M2	C-1	12,50	15,11	15,12	30,25	30,34
			15,12		30,37	
			15,12		30,41	
	C-2	12,30	14,91	14,94	30,22	30,24
			14,92		30,23	
			14,98		30,27	
	C-3	12,40	15,13	15,07	30,27	30,33
			15,08		30,33	
			15,01		30,39	

Tabla II.10 Ejemplo de datos obtenidos de un cilindro antes de ser sometido al ensayo de compresión NC 338-1994 [25]

Después de haber obtenido del cilindro la información referente a sus dimensiones y su peso, se procede a ensayar los mismos con la ayuda especializada del personal técnico en las instalaciones del IMME¹. La carga máxima se obtiene mediante la prensa universal y la resistencia se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R, Es la resistencia a la compresión

¹ I.M.M.E. "INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES U.C.V."

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

P, Es la carga máxima aplicada hasta la rotura, Kg

A, Es el área promedio en la que se aplica la carga, cm^2

Ejemplo de cálculo para el cilindro C-1

Cilindro C-1

- Diámetro promedio: 15.12 cm
- Carga aplicada a la rotura: 44000 Kg

- Area de aplicación de la carga: $A = \pi x \frac{d^2}{4}$

$$A = \pi x \frac{(15.12)^2}{4}$$

$$A = 179.6 \text{ cm}^2$$

- Resistencia a la compresión: $R = \frac{P}{A}$

$$R = \frac{44000}{179.6}$$

$$R = 245 \text{ Kg/cm}^2$$

El resto de los cálculos para la mezcla M2 están resumidos en la siguiente tabla II.11 y se complementan en los anexos

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Mezcla	Sacos	Cilindro	Diámetro Promedio D	Carga máxima aplicada	R ₂₈
	C		cm	Kg	Kg/cm ²
M2	10	C-1	15,12	44000	245
		C-2	14,94	43800	250
		C-3	15,07	44200	248

Tabla II.11 Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros en la mezcla M2

Luego, se calcula la resistencia promedio de cada mezcla a través de la siguiente ecuación:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n}$$

$$\bar{R}_{28} = \frac{245 + 250 + 248}{3}$$

$$\bar{R}_{28} = 248 \text{ Kg/cms}^2$$

Todos los cálculos hechos hasta aquí se pueden apreciar resumidos en tablas en el capítulo de “Resultados obtenidos” y se complementan en el anexo H con información adicional.

II.8 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE EXUDACIÓN Y RETRACCIÓN

II.8.1 ESTUDIO DE LA EXUDACIÓN

El ensayo de exudación se realiza siguiendo las indicaciones de la norma COVENIN 353-79^[29]. Los equipos necesarios para desarrollar este ensayo son: Pipeta graduada, Cilindro graduado, Recipiente metálico de 20 cms de diámetro y 25 cms de altura (Medidas internas) y por último un plástico de tamaño adecuado para cubrir el recipiente en su totalidad.

En dicho recipiente, se coloca la muestra de microconcreto en varias capas. Cada una de las cuales, se compacta con 25 golpes dados con una barra lisa de acero. La última capa compactada, se alisa con una cuchara de albañil y se pesa la muestra. Luego, se coloca el recipiente de manera inclinada sobre una mesa. De tal manera que el agua que vaya subiendo a la superficie escurra y pueda ser extraída con la pipeta.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.13-A Ensayo de exudación



Foto II.13-B Ensayo de exudación-molde inclinado

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.13-C Ensayo de exudación-toma de muestras

El agua extraída se va colocando en un cilindro graduado y se toma nota en cada extracción de la cantidad de agua. El tiempo que se espera para que la mezcla exude es de media hora y se extrae agua hasta que el proceso de sangrado haya cesado. Por lo general, esto ocurre a las dos horas de haber iniciado la mezcla y va acompañado por una notable pérdida de la brillantez de la superficie del microconcreto en el recipiente.

Cabe destacar que a mayor relación agua/cemento hay mayor exudación. La cual dura mientras el concreto no ha fraguado; cuando esto ocurre, este fenómeno cesa. En los ensayos realizados, la exudación nunca supera las dos horas. Puede ser menor a medida que disminuya la relación agua/cemento.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

A continuación se presenta un ejemplo ilustrativo de este ensayo para la mezcla M3. La exudación se presenta en porcentaje.

Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento T	Intervalos de lectura	Cantidad de agua extraída en cada intervalo	Peso Muestra ensayada
	A/C	Pulg	Minutos	ml	Kg
M3	0,70	9 1/2	30,00	11	20,2
			60,00	38	
			90,00	42	
			120,00	42	

Tabla II.12 Datos para la obtención de la exudación de una mezcla de microconcreto

A.- Volumen total del agua de exudación

$$V1 = 42 \text{ cm}^3$$

B.- Area expuesta del concreto

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 314.16 \text{ cm}^2$$

C.- Agua de exudación por unidad de superficie

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

$$V = \frac{V1}{A}$$

$$V = \frac{42}{314.16} = 0.13 \frac{cm^3}{cm^2}$$

D.- Peso total de la mezcla elaborada

$$Wt = 60.38 \text{ Kg}$$

E.- Peso de la muestra

$$W = 15.4 \text{ Kg}$$

F.- Peso neto del agua en la mezcla

$$Wa = 8.8 \text{ Kg}$$

G.- Agua total que contiene la muestra estudiada

$$We = \frac{Wa \times W}{Wt}$$

$$We = \frac{8.8 \times 15.4}{60.38} = 2.25 \text{ Kg}$$

H.- Cantidad de agua extraída en porcentaje

$$E = \frac{V1}{(We \times 1000)} \times 100$$

$$E = \frac{42}{(2.25 \times 1000)} \times 100 = 1.89\%$$

Este mismo proceso se realiza con las demás mezclas para obtener los porcentajes de exudación que se muestran en el anexo J.

II.8.2 ESTUDIO DE LA RETRACCION

Otro de los objetivos que se deben cubrir en este Trabajo Especial de Grado, es aquel que involucra al estudio de la retracción en el microconcreto. Cuando ya se tiene lista la mezcla, se procede a vaciar la misma en los moldes destinados al estudio de la retracción (seis en total de dimensiones (2,5x2,5x28) cm). Este estudio se hizo siguiendo las indicaciones de la Norma COVENIN 346-79.^[27]



Foto II.14-A Compactación de mezcla en moldes para retracción

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.14-B Curado de las probetas en los moldes para retracción

Transcurridas las primeras 24 horas posteriores al vaciado, se debe retirar las probetas de los moldes. Se identifican debidamente con la fecha del día y con el tipo de mezcla. Luego, se dividen en dos grupos de tres muestras cada uno. El primer grupo, identificado como "AL", se coloca en un cuarto de secado a la temperatura ambiente de laboratorio, el segundo grupo, identificado como "S", se coloca sumergido en un recipiente con agua y cal.

Esto es necesario para hacer un estudio simultáneo de retracción y de entumecimiento de las muestras respectivamente. Una vez que se ha identificado las probetas en cuestión, deben ser medidas por primera vez con un extensómetro de acuerdo con un

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

calendario de medidas previamente establecido para este Trabajo Especial y sin alterar demasiado lo indicado en la respectiva norma.



Foto II.14-C Probetas de retracción fuera del molde tipo A.L.



Foto II.14-D Probetas de retracción fuera del molde tipo S

Este calendario de medidas quedó establecido así: a partir del mezclado de los materiales y el respectivo vaciado en los moldes se dejan transcurrir 24 horas. Tiempo a partir del cual, se retiran las seis

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

muestras de los moldes y se toma una lectura inicial con el extensómetro; luego, como se dijo anteriormente, las seis muestras se dividen en dos grupos que se colocan en los ambientes ya indicados. A los dos días se retiran los dos grupos de su ambiente de curado y se toma una segunda lectura con el extensómetro.



Foto II.14-E Probetas de retracción en el extensómetro.

Es necesario tomar estas lecturas iniciales pues se supone que la retracción más grande ocurre al principio, debido al fraguado del microconcreto, en el que hay una rápida pérdida de agua en la mezcla. Las siguientes medidas se tomaron semanalmente a partir del

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

momento en que se mezclaron los componentes y se prolongaron las lecturas hasta completar las siete semanas.

Adicionalmente, se anota, antes de proceder a medir las barras de microconcreto, la barra patrón de acero que viene con el aparato la cual está diseñada especialmente para impedir que varíe en su longitud en el extensómetro y se anota la lectura de la barra patrón en todas las mediciones que se hagan para finalmente hacer las comparaciones que hagan falta y determinar así la retracción de las muestras con respecto a esa barra patrón.

Todas las lecturas hechas se anotan en una planilla diseñada especialmente para este ensayo, en la que se coloca toda la información concerniente a la mezcla en estudio. La información colocada en la planilla abarca el tipo de mezcla (asociada a una relación agua/cemento), la fecha de vaciado de la mezcla en el molde, la fecha de lectura de las probetas, la lectura de la barra patrón y por supuesto la lectura obtenida de cada una de las probetas de la mezcla en estudio.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Estas lecturas que se hacen de cada probeta, comprenden tres lecturas máximas y tres mínimas. Estas se obtienen al hacer girar la barra sobre su eje longitudinal en el extensómetro. Las lecturas en el extensómetro, consisten en tomar dos valores de dos escalas distintas que tiene este aparato una vez que se ha colocado la muestra que va a ser medida; para una mejor comprensión, la lectura de la escala mayor se indica como número de vueltas y la de la escala menor, se indica como número de unidades. Ver Fig II.1

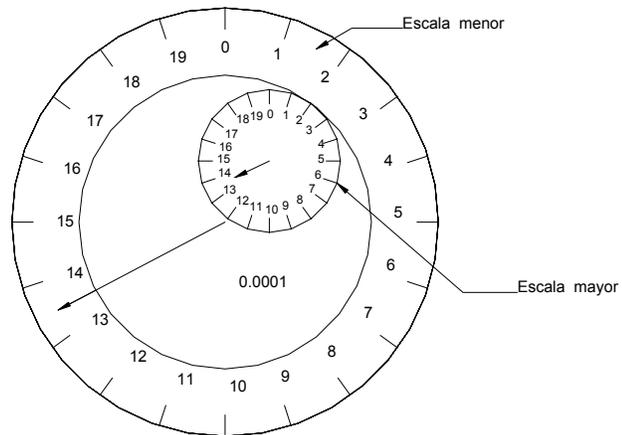


Fig II.1 Extensómetro

Las lecturas tomadas a diario, como ya se dijo, tienen como referencia la lectura de la barra patrón; el promedio de las tres lecturas de la barra patrón, indica la marca "cero" del muestreo. Lo expuesto hasta aquí se ilustra en las tablas II.13 A y II.13.B.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Retracción a 1 día de vaciado

Fecha de vaciado

Fecha de lectura _____

Mezcla		M6
Nº	Barra patrón	6-7
	Lectura min	Lectura max.
1	1	1.1
2	1	1.1
3	1.1	1.1

Nº	Barra # 1 - S	5-6	Peso
	Lectura min	Lectura max.	g
1	7,2	7,5	417.0
2	6,6	6,8	
3	6,9	7,2	

Nº	Barra # 2 - S	7-8	Peso
	Lectura min	Lectura max.	g
1	18,1	18,9	411,7
2	17,7	17,8	
3	17,9	18,3	

Nº	Barra # 3 - S	7-8	Peso
	Lectura min	Lectura max.	g
1	10,3	10,8	395,5
2	9,5	9,8	
3	10,3	10,5	

Tabla II.13 A Lecturas obtenidas de muestras de micro concreto curadas en laboratorio para análisis de retracción

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Retracción a x día de vaciado
Fecha de vaciado
Fecha de lectura

	Mezcla	M6
Nº	Barra # 1 -A	7-8
	Lectura min	Lectura max.
1	5,2	5,5
2	4,5	4,7
3	5,1	5,3

Nº	Barra # 2 - A	8-9
	Lectura min	Lectura max.
1	4,6	4,8
2	4,3	4,4
3	4,6	4,7

Nº	Barra # 3 - A	4-5
	Lectura min	Lectura max.
1	2,9	3
2	2,9	2,9
3	2,6	2,9

Tabla II.13 B Lecturas obtenidas de muestras de microconcreto curadas en agua para análisis de entumecimiento

Al concluir la recolección de datos en todas las probetas, se procede a analizar la información recabada para determinar la retracción en cada una de las muestras en estudio. Con la longitud de la barra patrón (medida con un vernier), se calcula la longitud de

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

las probetas de microconcreto diariamente. Este cálculo se obtiene haciendo la diferencia entre el “cero” (promedio de las lecturas de la barra patrón Tabla II.14) y el promedio de las lecturas de cada barra de microconcreto.

Los cálculos de los promedios de las barras se calcula sumando las lecturas máximas y las mínimas para cada barra y luego sacando el promedio general tal como se ve en la tabla II.14

Lect. Mínima	Lect. Máxima	Promedio
1	1,1	1.05
1	1,1	1.05
1,1	1,1	1.10
Promedio general		1.07

Tabla II.14 Cálculo del número de unidades o longitud promedio

Cabe destacar que el número de unidades en el extensómetro es de 20 (escala mayor) esto equivale a una vuelta completa (escala pequeña). Por otro lado, cada unidad está compuesta de 10 intervalos que corresponden a 1×10^{-4} pulgadas. Los promedios calculados (Nº de unidades) y el número de vueltas se ven en la siguiente tabla II.15

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Retracción a 1 día de vaciado

Fecha de vaciado _____

Fecha de lectura _____

Mezcla		M6
Muestra	Nº de Vueltas	Nº de Unidades
		Lecturas promedio
Barra patrón	6-7	1,07
Barra # 1 – AL	5-6	7,03
Barra # 2 – AL	7-8	18,03
Barra # 3 – AL	7-8	10,20
Barra # 1 –S	7-8	5,05
Barra # 2 – S	8-9	4,57
Barra # 3 - S	4-5	2,87

Tabla II.15 Promedio de lecturas obtenidas con el extensómetro y nº de vueltas

Cuando ya se tiene definido el número de vueltas y el número de unidades, se procede a calcular las longitudes en milímetros de las muestras. Se hace de la siguiente manera:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Se calcula la lectura promedio en pulgadas multiplicando el N° de vueltas (valor menor) por 200 y se le suma el número de unidades (valor promedio de la tabla II.15) multiplicada por 10, esto se hace a las tres barras tipo AL y las tres barras tipo S, luego se promedian según su tipo obteniéndose un valor para AL y otro para S. Como se muestra en la siguiente tabla:

$$\text{Barra patrón : } 6 \times 200 + 1.07 \times 10 = 1210.7 \times 10^{-4} \text{ pulgadas}$$

Muestra	Lectura ($\times 10^{-4}$)	Lectura promedio ($\times 10^{-4}$)
	Pulgadas	Pulgadas
Barra patrón	1210.7	1210.7
Barra # 1 AL	1070.3	1384.2
Barra # 2 AL	1580.3	
Barra # 3 AL	1502.0	

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Barra # 1 S	1450.5	1308.3
Barra # 2 S	1645.7	
Barra # 3 S	828.7	

Tabla II.16 Longitud de las barras en pulgadas

Luego, cada uno de las lecturas promedios obtenidas se resta a la lectura promedio de la barra patrón y se tiene lo siguiente:

$$AL: 1384.2 - 1210.7 = 173.5 \times 10^{-4} \text{ Pulg}$$

$$S : 1308.3 - 1210.7 = 97.6 \times 10^{-4} \text{ Pulg}$$

Por último, se calcula la longitud promedio de las muestras sumándole a la longitud de la barra patrón las diferencias antes calculadas multiplicada por 25.4 para tener el resultado en milímetros

La longitud de la barra patrón se obtiene a través de un vernier, la lectura tomada es 296.6 mm

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

$$\text{AL: } 296.6 \text{ mm} + 173.5 \times 10^{-4} \times 25.4 \text{ mm} = 297 \text{ mm}$$

$$\text{S: } 296.6 \text{ mm} + 97.6 \times 10^{-4} \times 25.4 \text{ mm} = 296.8 \text{ mm}$$

Estos valores corresponden al día cero, lectura inicial, los siguientes datos tomados semanalmente para esta mezcla, se restan a estos dos últimos valores (tanto para AL como para S) calculados y se tiene de esta manera, la variación de longitud de las barras con respecto al día cero (primer día de lectura). Los valores calculados tienen que ser iguales o mayores, en valor absoluto, que el error del instrumento, esto significa que una división de la escala corresponde a 0.0001 pulgadas lo cual equivale a 0.00254 mm. Lo anterior se resume en la siguiente tabla:

M6		
	Barras AL	Barras S
Tiempo (Días)	Retracción (mm)	Retracción (mm)
0	0,000	0,000
2	0,101	-0,030
6	0,151	-0,023
13	0,181	-0,369
20	0,190	-0,370
27	0,540	0,137
34	0,377	-0,035
41	0,381	-0,037

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

48	0,390	-0,039
----	-------	--------

Tabla II.17 Diferencia entre la barra patrón y las barras tipo AL y S

Para una mejor comprensión de los valores obtenidos hasta aquí, los datos calculados en la tabla anterior, se deben expresar en porcentaje es por ello que cada uno de esos valores se divide entre la longitud de las probetas (285 mm) y se multiplica por 100 para tener los resultados de retracción expresados en porcentaje.

M6		
	Barras AL	Barras S
Tiempo (Días)	Retracción (%)	Retracción (%)
0	0,000	0,000
2	0,036	-0,010
6	0,053	-0,008
13	0,064	-0,129
20	0,066	-0,130
27	0,189	0,048
34	0,132	-0,012
41	0,134	-0,013
48	0,137	-0,014

Tabla II.18 Variación de longitud en porcentaje

Este proceso, es el que se realiza para calcular los cambios de longitud de todas las probetas correspondientes a cada una de las mezclas de este Trabajo Especial. Al igual que los anteriores ensayos, el resto de los cálculos se encuentran reflejados en el

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

capítulo III de resultados obtenidos y se complementan en los anexos respectivos.

I.9 REPARACION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO USANDO EL MICROCONCRETO.-

Como se indicó anteriormente este Trabajo Especial de Grado consta de varios objetivos específicos. El último de estos que a continuación se presenta, sirve para emplear el microconcreto diseñado en la reparación de estructuras de concreto armado. Son muchas las causas que pueden generar daños en las estructuras de concreto; tales como: corrosión de acero de refuerzo, Caída del recubrimiento, Vacíos por mala compactación, etc.

Con el microconcreto elaborado, se pretende reparar los posibles daños que presenta una cierta estructura. En este caso, se elaboraron tres vigas de concreto de dimensiones 10x10x25 cm, en dos de las cuales, se simuló un vacío o cangrejera por mala compactación. Una tercera se vació por completo para luego someter a las tres a un ensayo de flexión a los siete días de vaciado. De igual modo, se preparó una viga de concreto mucho más grande de dimensiones 15x15x80 cm en la que también se simuló una cangrejera y se procedió a su reparación con el microconcreto elaborado.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Para la reparación de estas vigas se utilizó la mezcla de microconcreto que tiene la mayor relación agua/cemento, la mezcla M3, el comportamiento de esta mezcla en las reparaciones realizadas fue bastante satisfactorio pues las mismas no sufrieron agrietamientos durante el fraguado ni después hasta el momento del ensayo. El ensayo de flexión practicado en las probetas pequeñas se refleja en el siguiente cuadro:

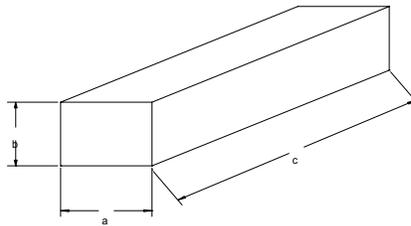


Fig II.2 Probeta de concreto reparada
con microconcreto

	Viga Patrón			Viga 1			Viga 2		
	Dimensiones			Dimensiones			Dimensiones		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	Cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	10,41	10,05	24,80	10,33	10,05	26,00	10,27	10,18	24,20
2	10,37	10,00	24,70	10,37	10,03	25,80	10,26	10,12	24,20
3	10,38	10,03	24,80	10,42	10,09	25,70	10,25	10,09	24,20
Carga Máxima Kg	1190			1020			980		

*Tabla II.19 Resultados del ensayo a flexión de las probetas reparadas
con el microconcreto de la mezcla M3*

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.15 Viga pequeña antes de la reparación



Foto II.15-A Ensayo a flexión de la viga reparada

La otra viga, más grande, no fue sometida a ningún ensayo, simplemente se hizo para observar el comportamiento de la mezcla en un volumen mayor de reparación. Otra de las reparaciones realizadas con esta mezcla se hizo en los agujeros originados por la extracción

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

de núcleos, se rellenó uno de estos agujeros con la misma mezcla, M3. ^[10]



Foto II.15-B Reparación de viga con microconcreto



Foto II.15-C Reparación de viga con microconcreto

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Foto II.15-D Reparación de orificio por extracción de núcleo con microconcreto



Foto II.15-E Reparación de orificio por extracción de núcleo con microconcreto-otra vista

RESULTADOS OBTENIDOS

III.1 RESULTADOS OBTENIDOS.-

En este capítulo se presentan, en forma resumida, todos los resultados obtenidos a lo largo del Trabajo Especial de Grado. Estos comprenden los siguientes aspectos: Asentamiento de las mezclas elaboradas, resistencia del microconcreto a la compresión, flujo en el microconcreto, exudación y retracción. Todos los datos se presentan en tablas, para mayor información las mismas se complementan con gráficos en la sección de anexos.

III.1.1 ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.-

En la siguiente tabla, se presenta un resumen del ensayo de resistencia a la compresión de los cilindros de las mezclas elaboradas. En la primera de las tablas, se colocan las mezclas de microconcreto que poseen agregado con tamaño máximo de 3/8"

En la segunda tabla se colocan las mezclas de microconcreto que tiene agregado tamizado pasante 1/4". Adicionalmente, se añade en ambas tablas una columna con los resultados del asentamiento obtenido a través del cono de Abrams.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

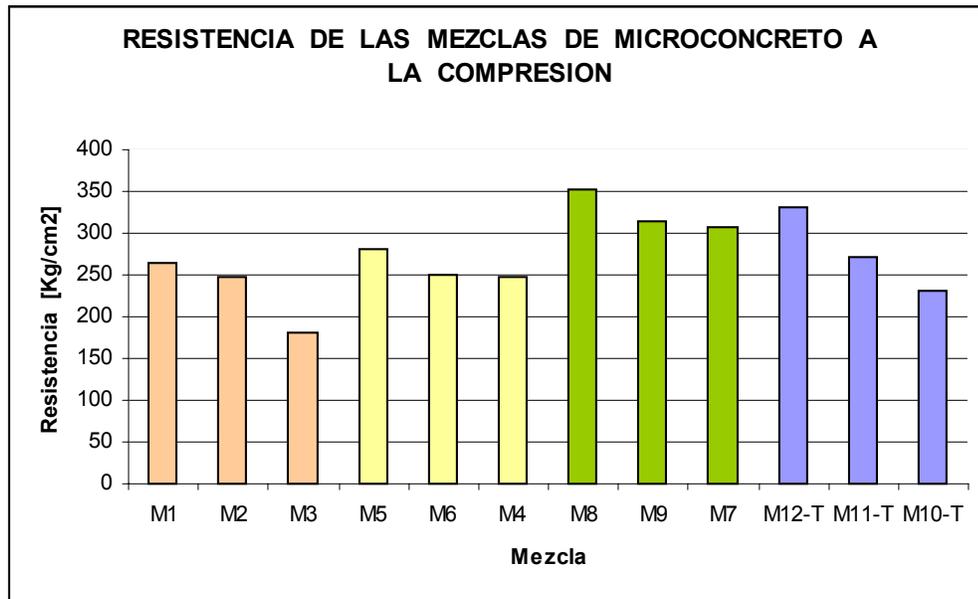
Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento		R ₂₈ promedio
			T		
C		α	cm	Pulgadas	Kg/cm ²
10	M1	0,60	2,9	1 1/8	265
	M2	0,65	14,0	5 1/2	248
	M3	0,70	24,1	9 1/2	181
12	M5	0,56	14,0	5 1/2	282
	M6	0,60	20,3	8	249
	M4	0,63	22,9	9	248
14	M8	0,48	8,9	3 1/2	352
	M9	0,52	17,5	6 7/8	314
	M7	0,55	21,6	8 1/2	307

Tabla III.1 Resultados obtenidos de resistencia a compresión para microconcreto con agregado tamaño máximo de 3/8"

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento		R ₂₈ promedio
			T		
C		α	cm	Pulgadas	Kg/cm ²
14	M12-T	0,52	11,4	4 1/2	330
12	M11-T	0,60	15,2	6	271
10	M10-T	0,70	16,2	6 3/8	231

Tabla III.2 Resultados obtenidos de resistencia a compresión para microconcreto con agregado tamizado pasante 1/4"

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



III.1.2 FLUJO EN EL MICROCONCRETO.-

A continuación se presenta los resultados obtenidos de flujo para microconcreto. Se presenta en dos tablas; en la primera, se colocan los resultados del flujo para las mezclas de microconcreto tamaño máximo de 3/8". En la segunda, se colocan los resultados del flujo para las mezclas de microconcreto tamizadas pasante 1/4".

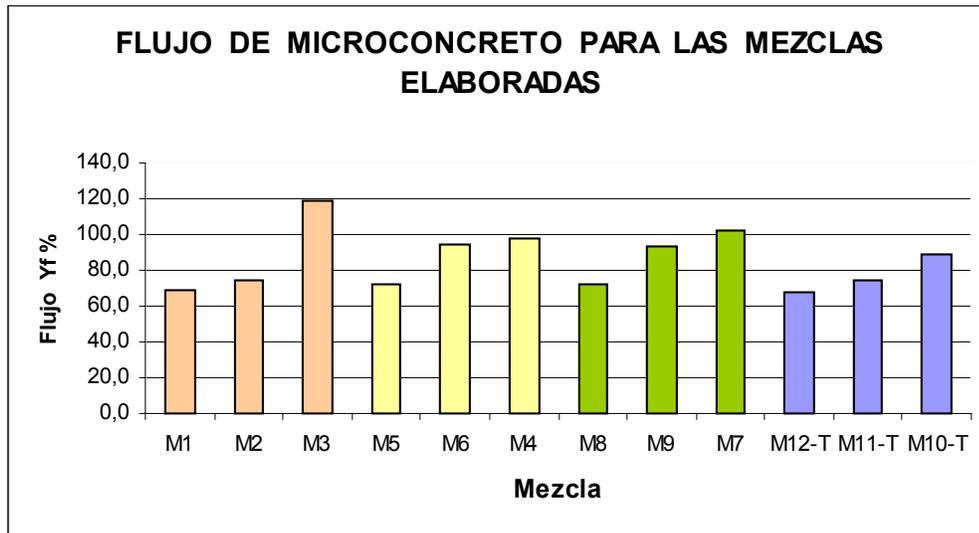
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Diámetro Promedio, De	Yf
C		α	cm	%
10	M1	0,60	16,9	69,2
	M2	0,65	17,4	74,2
	M3	0,70	21,9	119,2
12	M5	0,56	17,2	71,7
	M6	0,60	19,4	94,2
	M4	0,63	19,8	98,3
14	M8	0,48	17,3	72,5
	M9	0,52	19,3	93,3
	M7	0,55	20,2	101,2

Tabla III.3 Resultados obtenidos de flujo para microconcreto con agregado tamaño máximo de 3/8"

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Diámetro Promedio, De	Yf
C		α	cm	%
14	M12-T	0,52	16,8	67,5
12	M11-T	0,60	17,4	74,2
10	M10-T	0,70	18,9	89,2

Tabla III.4 Resultados obtenidos de flujo para microconcreto con agregado tamizado pasante 1/4"



III.1.3 EXUDACION EN EL MICROCONCRETO.-

Las siguientes tablas (tabla III.5 y tabla III.6) muestran el porcentaje de exudación de las mezclas de microconcreto. Del mismo modo como se hizo anteriormente, los datos se reflejan en dos tablas para separar las muestras elaboradas con agregado tamaño máximo 3/8" y las muestras elaboradas con agregado tamizado pasante 1/4"

Adicionalmente se coloca en cada una de las tablas la relación agua/cemento utilizada en esa mezcla para hacer comparaciones entre ellas.

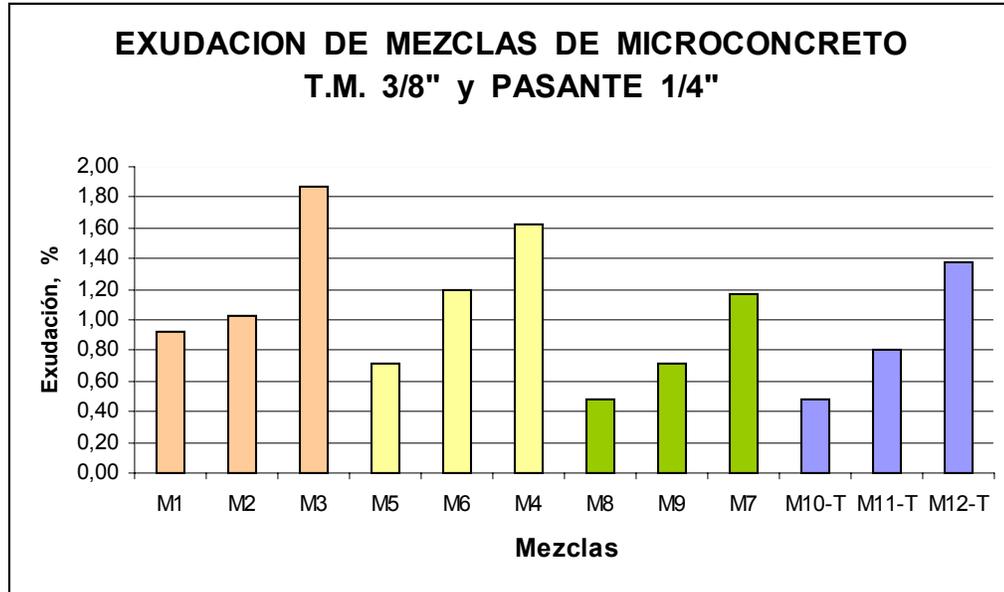
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento T		Exudación E
			cm	Pulgadas	
C		α			%
10	M1	0,60	2,9	1 1/8	0,92
	M2	0,65	14,0	5 1/2	1,02
	M3	0,70	24,1	9 1/2	1,87
12	M5	0,56	14,0	5 1/2	0,71
	M6	0,60	20,3	8	1,19
	M4	0,63	22,9	9	1,62
14	M8	0,48	8,9	3 1/2	0,48
	M9	0,52	17,5	6 7/8	0,71
	M7	0,55	21,6	8 1/2	1,17

Tabla III.5 Resultados obtenidos de exudación para microconcreto con agregado tamaño máximo 3/8"

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento T		Exudación, E
			cm	Pulgadas	
C		α			%
14	M12-T	0,52	11,4	4 1/2	0,48
12	M11-T	0,60	15,2	6	0,81
14	M10-T	0,70	16,2	6 3/8	1,38

Tabla III.6 Resultados obtenidos de exudación para microconcreto con agregado tamizado pasante 1/4"



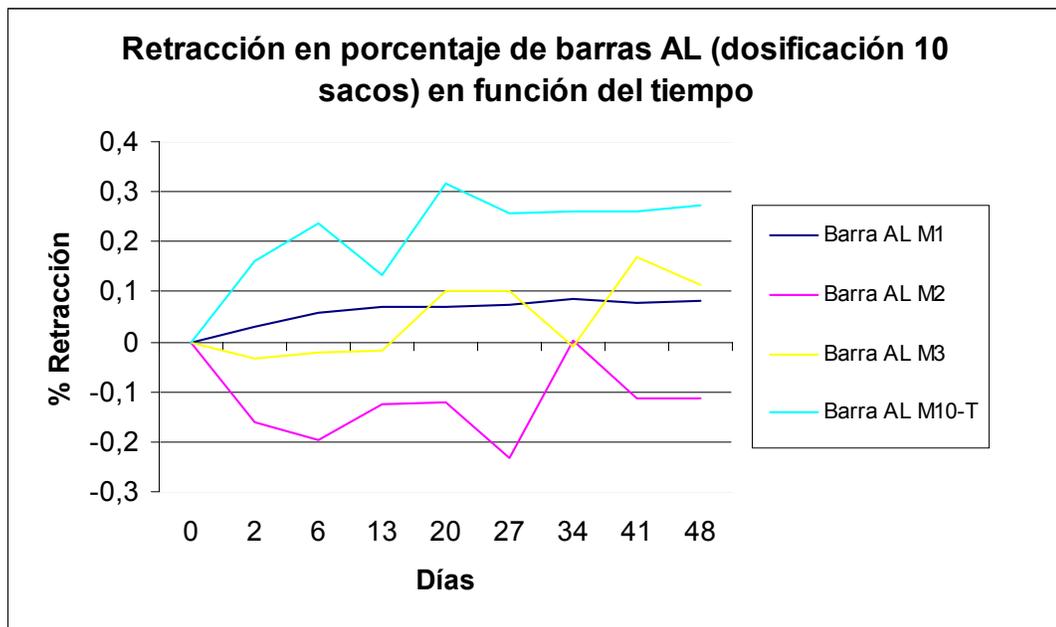
III. 1.4 RETRACCION EN EL MICROCONCRETO.-

En esta parte se presenta las tablas finales de retracción expresada en porcentaje. Las tablas se hicieron agrupando las mezclas según su dosificación. Es decir, 10,12 y 14 sacos. Después de cada tabla, se complementa la información con los gráficos de retracción respectivos.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Tiempo	M1	M2	M3	M10-T
	Barras AL	Barras AL	Barras AL	Barras AL
Días	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,031	-0,160	-0,036	0,161
6	0,058	-0,195	-0,023	0,237
13	0,069	-0,126	-0,019	0,135
20	0,068	-0,122	0,101	0,316
27	0,074	-0,232	0,102	0,258
34	0,085	0,004	-0,009	0,261
41	0,078	-0,115	0,170	0,260
48	0,084	-0,113	0,112	0,273

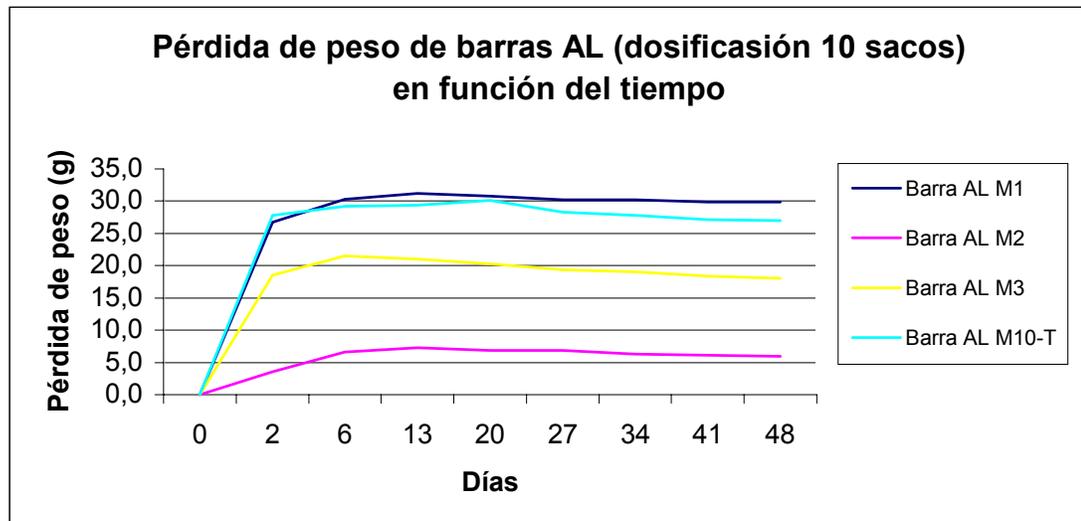
Tabla III.7 Resultados obtenidos de retracción para microconcreto con dosificación de 10 sacos



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Pérdida de Peso , dosificación 10 sacos				
Tiempo	Promedios			
	M1	M2	M3	M10-T
Días	g	g	g	g
0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	26,7	3,5	18,5	27,8
6	30,3	6,6	21,5	29,2
13	31,2	7,3	21,0	29,3
20	30,8	6,9	20,3	30,1
27	30,2	6,9	19,3	28,3
34	30,2	6,3	19,1	27,8
41	29,8	6,1	18,4	27,1
48	29,8	6,0	18,1	27,0

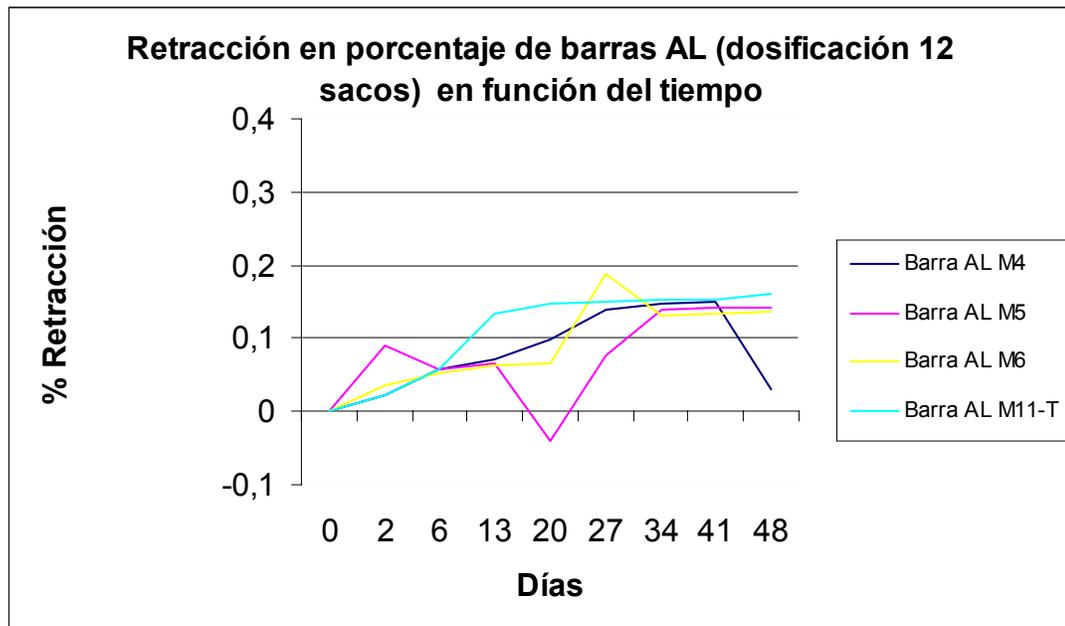
Tabla III.8 Resultados obtenidos de pérdida de peso para microconcreto con dosificación de 10 sacos



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Tiempo	M4	M5	M6	M11-T
	Barras AL	Barras AL	Barras AL	Barras AL
Días	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,022	0,091	0,036	0,023
6	0,056	0,057	0,053	0,058
13	0,072	0,067	0,064	0,134
20	0,099	-0,041	0,066	0,146
27	0,139	0,078	0,189	0,151
34	0,146	0,140	0,132	0,153
41	0,151	0,142	0,134	0,154
48	0,030	0,142	0,137	0,160

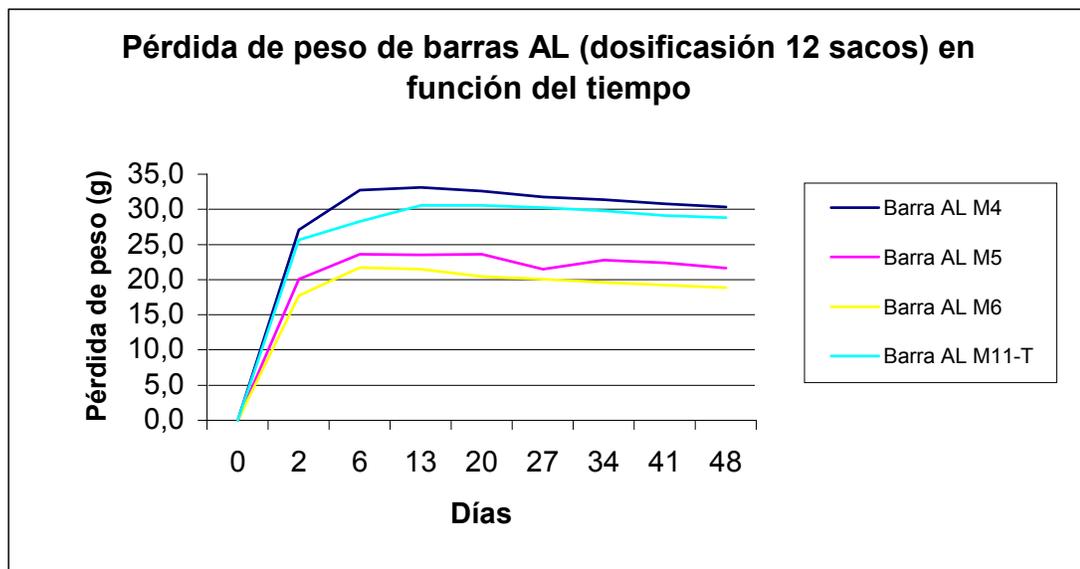
Tabla III.9 Resultados obtenidos de retracción para microconcreto con dosificación de 12 sacos



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Pérdida de Peso , dosificación 12 sacos				
Tiempo	Promedios			
	M4	M5	M6	M11-T
Días	g	g	g	g
0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	27,1	20,0	17,7	25,6
6	32,7	23,6	21,7	28,3
13	33,1	23,5	21,5	30,5
20	32,6	23,6	20,5	30,5
27	31,8	21,5	20,1	30,3
34	31,4	22,8	19,6	29,8
41	30,8	22,4	19,2	29,1
48	30,3	21,6	18,8	28,8

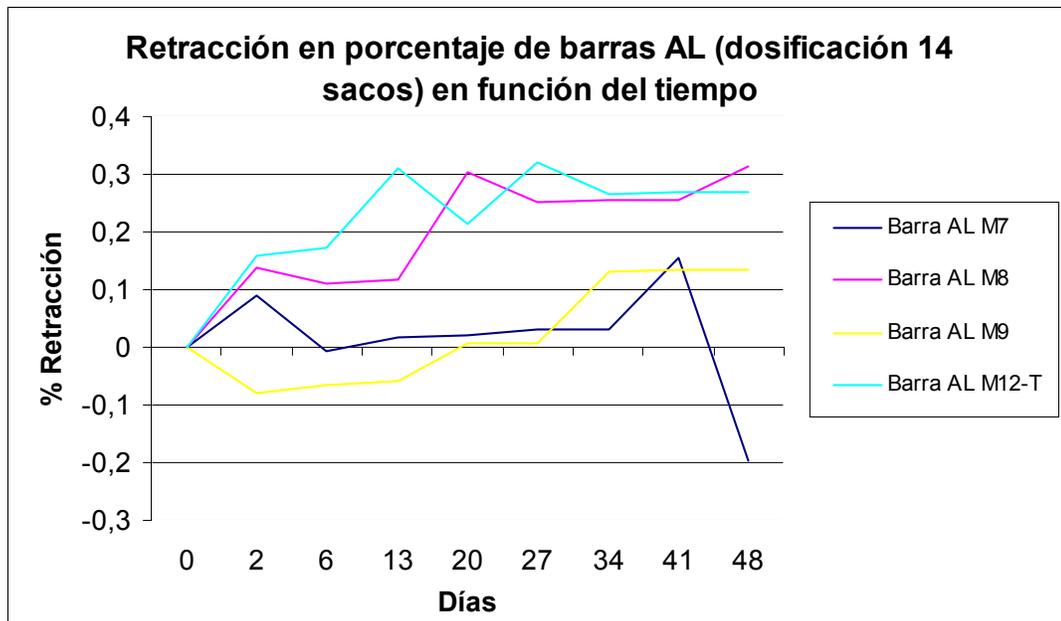
Tabla III.10 Resultados obtenidos de pérdida de peso para microconcreto con dosificación de 12 sacos



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Tiempo	M7	M8	M9	M12-T
	Barras AL	Barras AL	Barras AL	Barras AL
Días	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,091	0,138	-0,078	0,159
6	-0,006	0,110	-0,065	0,174
13	0,017	0,117	-0,059	0,309
20	0,022	0,304	0,006	0,215
27	0,032	0,252	0,008	0,320
34	0,032	0,255	0,131	0,264
41	0,154	0,257	0,133	0,270
48	-0,197	0,315	0,134	0,269

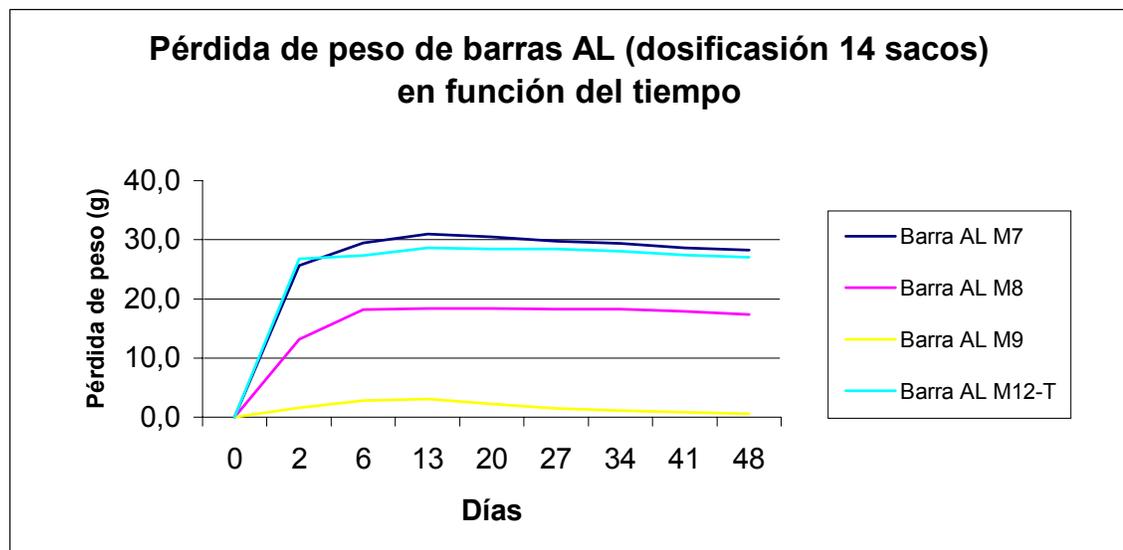
Tabla III.11 Resultados obtenidos de retracción para microconcreto con dosificación de 14 sacos



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Pérdida de Peso , dosificación 14 sacos				
Tiempo	Promedios			
	M7	M8	M9	M12-T
Días	g	g	g	g
0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	25,6	13,2	1,6	26,7
6	29,4	18,2	2,8	27,3
13	31,0	18,3	3,1	28,6
20	30,5	18,4	2,2	28,5
27	29,7	18,3	1,5	28,4
34	29,3	18,3	1,1	28,1
41	28,7	17,9	0,8	27,4
48	28,3	17,3	0,5	27,1

Tabla III.12 Resultados obtenidos de pérdida de peso para microconcreto con dosificación de 14 sacos



III. 1.5 REPARACION CON EL MICROCONCRETO.-

La reparación con el microconcreto en este Trabajo Especial de Grado, consistió en reparar vacíos o cangrejas en probetas de concreto cuyas dimensiones son 10x10x25 cm. Dicha reparación se realizó con el microconcreto correspondiente a la mezcla M3 por ser la de mayor asentamiento.

El proceso consistió en preparar tres probetas con una dosificación de concreto cualquiera en las cuales dos de ellas se hacen de tal manera que se les deja un hueco para su posterior reparación. La tercera, se vacía completamente para tener un patrón de comparación después del ensayo de flexión.

Cuando ya han transcurrido 24 horas, se tienen las muestras listas para ser reparadas con una mezcla de microconcreto preestablecida, M3. Se reparan con dicha mezcla y se espera siete días al cabo de los cuales, se someten las tres probetas al ensayo de flexión, obteniéndose los siguientes resultados:

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Viga	Carga máxima
	Kg
Viga patrón	1190
Viga 1	1020
Viga 2	980

Tabla III.13 Resultados de ensayo a flexión de las vigas reparadas con microconcreto M3

Como se ve, los resultados obtenidos para las vigas 1 y 2 son bastante similares al resultado que se obtuvo con la viga patrón. Cabe destacar, que la falla producto de la carga aplicada, se produjo en la frontera existente entre la reparación realizada y la probeta como tal.

Se hicieron además, dos reparaciones adicionales a las anteriores. En la primera de ellas, se hicieron en una probeta más grande que las anteriores y por supuesto la reparación también fue mucho mayor; el resultado fue satisfactorio pues la reparación efectuada no se desprendió ni sufrió agrietamientos. En la segunda reparación adicional, se rellenó una perforación hecha en un elemento de concreto (core drill) de igual modo esta reparación no sufrió agrietamientos. La mezcla utilizada en estas dos últimas reparaciones al igual que las anteriores fue M3.

ANALISIS DE RESULTADOS

IV.1 AGREGADO

El agregado utilizado en este Trabajo Especial de Grado es de tendencia gruesa; tal como se aprecia en la gráfica de la granulometría (ver anexos página 139)

El análisis de las partículas en suspensión, produjo como resultado, un 5.2% de partículas menores de 20 micras presentes en el agregado. Esto puede influenciar en los ensayos realizados pues se incrementa la superficie específica que entra en contacto con el agua.

Tanto la absorción como el peso específico calculado dieron aceptable con respecto a los valores obtenidos para otras investigaciones^[4] anteriores. Por otro lado, el peso específico dio un resultado bajo en comparación a los valores de otras investigaciones^[4]

IV.2 ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El asentamiento que se obtuvo para cada una de las mezclas, varió de acuerdo a la relación agua/cemento. A mayor α , se tuvo mayor asentamiento de la mezcla. Pero a mayor asentamiento de las mezclas la resistencia de las mismas disminuyó.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Para las relaciones agua/cemento similares, se obtienen distintos asentamientos, esto se debe a la dosificación de cemento; al tener mayor cantidad de cemento y agua hay mayor cantidad de pasta presente en la mezcla y se tienen mayores asentamientos.

IV.3 FLUJO.-

De igual modo que para el asentamiento, el flujo de las mezclas tuvo un comportamiento que varió de acuerdo a la relación agua/cemento. Un aumento en el porcentaje de flujo es consecuencia de un aumento en la cantidad de pasta en la mezcla, mayor α , hay mayor lubricación en la mezcla y por lo tanto ésta se hace más fluida.

IV.4 EXUDACION.-

En general, el porcentaje de exudación aumenta en forma directamente proporcional a la relación agua/cemento, esto se debe a que a mayor α implica mayor cantidad de agua en la mezcla para un mismo flujo y en consecuencia la cantidad de agua que puede exudar una mezcla es mucho mayor que en aquellas en donde el α disminuye.

IV.5 RETRACCION.-

Para el ensayo de retracción se tiene que las muestras tamizadas tuvieron mayor retracción que las muestras no tamizadas. Esto se debe a que los granos gruesos del agregado, al tener estabilidad volumétrica; es decir, no se encogen, impiden que la probeta se retraiga. Cuando se tamiza la muestra, la retracción se hace más evidente.

En todo caso, se puede observar que en general, la pérdida de peso y la retracción son proporcionales. Es decir, las muestras con mayor pérdida de peso fueron las de mayor retracción. Los valores de retracción obtenidos son muy bajos puesto que el valor máximo calculado fue de 0.32%, esto se traduce en 0.91 mm repartidos en 285 mm de longitud que tienen las probetas.

Por otro lado, los gráficos de pérdida de peso muestran un comportamiento más o menos uniforme. Mientras que los gráficos de retracción muestran unos picos o saltos que pueden ser producto de variables no controladas tales como temperatura, humedad relativa, etc. aunque en promedio tienen un comportamiento similar.

CONCLUSIONES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia del microconcreto indican que es posible lograr morteros con propiedades y trabajabilidad adecuadas para modelar las características mecánicas del concreto.
- La granulometría del agregado fino estuvo dentro de los límites esperados para mezclas de concreto.
- El análisis de la granulometría de la arena sola, Norma COVENIN 277-92, muestra una arena gruesa que tiende hacia los finos.
- Las reparaciones se deben curar adecuadamente para evitar fisuras que dañen la reparación y continúen dañando la estructura reparada
- Se intentó obtener lecturas tempranas de retracción pero fue imposible antes de las 24 primeras horas. Pues al desencofrar las probetas antes de las 24 horas de curado, éstas se rompen.
- El comportamiento de las mezclas con respecto a la exudación es el esperado pues el porcentaje de exudación varió según la relación agua/cemento.
- Los resultados de resistencia para la mezcla, M3, hecha con arena lavada fueron muy superiores a la mezcla

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

hecha con arena sin lavar. Esto sugiere que la presencia en exceso de los ultrafinos en el agregado, afectan su resistencia.

- Los resultados de resistencia para las mezclas de microconcreto, en general, son iguales o superiores a concretos de alta resistencia.
- Los resultados de retracción no tuvieron un comportamiento uniforme.
- En el ensayo a flexión de las vigas reparadas, se observa que la falla producto de la carga aplicada, ocurre en la frontera existente entre la pieza reparada y la reparación. Lo cual indica que la resistencia de la reparación es superior a la resistencia de la viga.

RECOMENDACIONES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

- Estudiar la retracción y la exudación del microconcreto con aditivos reductores de agua para compararlo con los valores obtenidos en este Trabajo Especial de Grado.
- Estudiar los efectos de la temperatura y la humedad en la exudación y la retracción.
- Desarrollar un nuevo Trabajo Especial de Grado basado en la aplicación del microconcreto para concreto proyectado.
- Buscar mezclas óptimas de microconcreto que permitan ser utilizadas para recubrir elementos estructurales de acero.
- Estudiar la influencia de los ultrafinos en la exudación, retracción y resistencia a la compresión del microconcreto.

BIBLIOGRAFIA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

1. PORRERO, J. y otros. “Manual del concreto” Ediciones Sidetur. Caracas 1996.
2. CIPRIANI, D.. “Influencia de la calidad de los agregados en las características del concreto” Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas 1974.
3. WADDELL, J. y DOBROWOLSKY, J. “Manual de la construcción con concreto” McGraw-Hill Tomo I y II Tercera edición 1997
4. AGUILAR G., P. y LARES R., E. C.. “Expresiones analíticas para la dosificación de microconcreto” . Trabajo Especial de Grado. Caracas, Octubre de 2000.
5. ALMANDOZ, J.. “La retracción en el concreto” I.M.M.E. U.C.V. Boletín técnico. Año IX N° 33 y 34. 1971.
6. SORIANO, J.. “La retracción en morteros” I.M.M.E. U.C.V. Boletín técnico. N° 7 1964.
7. RODRIGUEZ, L.. “Estudio general de la retracción en el concreto” Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas 1990.
8. ALVAREZ, R.. “Análisis de algunas causas de la retracción del concreto nacional” Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas 1989.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

9. FERNANDEZ C., M.. “Patología y terapéutica del hormigón armado” Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 3º edición. Madrid 1994.
10. DIAZ DE SMITTER, M. L.. “Reparación de elementos de concreto que han sido sometidos a extracción de núcleos” I.M.M.E. U.C.V. Boletín técnico. Año 19 N° 68. 1981.
11. POLLNER, E. y ALMANDOZ, J.. “Algunas experiencias en el campo de la patología de estructuras” I.M.M.E. U.C.V. Boletín técnico. Año 17 N° 65. 1979.
12. VALBUENA, J. H.. “Patología de una estructura agrietada” I.M.M.E. U.C.V. Boletín técnico. Año 22 N° 74-75. 1984.
13. JOISEL, A. y LAFUMA. “Fisuras y grietas en hormigones y morteros. Sus causas y remedios” Editores técnicos asociados. Cuarta edición. Barcelona 1975.
14. CONPAT 99. “ V Congreso iberoamericano de patología de las construcciones y VII Congreso de control de calidad vol 3 ” ASICONPAT . Editorial Saga & asociados Ltda.. Montevideo, Uruguay 1999 (576 pp)
15. FRATTELLI, M. G. “Reparación de daños estructurales” Ediciones UNIVE, Caracas, Venezuela 1998

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

16. IIC. “L’industria italiana del cemento” Revista dell’associazione italiana técnico económica del cemento (A.I.T.E.C.) Anno LXXI, N°1, Gennaio 2001. Revista mensile artículo p. 64
17. Norma COVENIN 28-93 “Cemento Pórtland. Especificaciones”
18. Norma COVENIN 255-77 “Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos ”
19. Norma COVENIN 259-77 “Método de ensayo para la determinación por suspensión de partículas menores de 20 micras en agregados finos”
20. Norma COVENIN 268-78 “Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino”
21. Norma COVENIN 270-78 “Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”
22. Norma COVENIN 273-78 “Definiciones de términos relativos a agregados destinados a la elaboración de morteros y concretos”
23. Norma COVENIN 277-92 “Agregados para concreto. Especificaciones”

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

24. Norma COVENIN 337-78 "Definiciones y terminología relativas a concreto"
25. Norma COVENIN 338-1994 "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto"
26. Norma COVENIN 339-78 "Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams"
27. Norma COVENIN 346-79 "Método de ensayo para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento y en concreto"
28. Norma COVENIN 347-79 "Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el concreto fresco por el método volumétrico"
29. Norma COVENIN 353-79 "Método de ensayo para determinar la exudación del concreto fresco"
30. Norma COVENIN 354-79 "Método para mezclado de concreto en el laboratorio"
31. Norma COVENIN 1610-80 "Método de ensayo para determinar el flujo de concreto por medio de la mesa de caídas"
32. Norma COVENIN 2385-86 "Agua de mezclado para concretos y morteros. Especificaciones"

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

33. Norma A.S.T.M. C232-71 "Standard Test Method for Bleeding of concrete"
34. Norma A.S.T.M. C243-65 "Standard Test Method for Bleeding of cement pastes and mortars"
35. Norma A.S.T.M. C596-75 "Standard Method of Measuring the drying shrinkage of mortar containing Portland cement"
36. Norma A.S.T.M. C827-78 "Standard Test Method for Early volume change of cementitious mixtures"
37. L'HERMITE, R. "A pie de obra " Editorial Tecnos, España Madrid, 1971.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO A GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

MUESTRA 1				
Tamiz		Peso retenido en cada cedazo	Porcentaje de agregado retenido	Porcentaje de agregado pasante
Pulg	mm	g	%	%
1/2	12,7	0	0	100
3/8	9,53	12,7	2,25	98
1/4	6,35	57,1	10,12	88
4	4,76	53,9	9,55	78
8	2,38	97	17,18	61
16	1,19	100,7	17,84	43
30	0,585	72,5	12,85	30
50	0,298	64,6	11,45	19
100	0,149	70,7	12,53	6

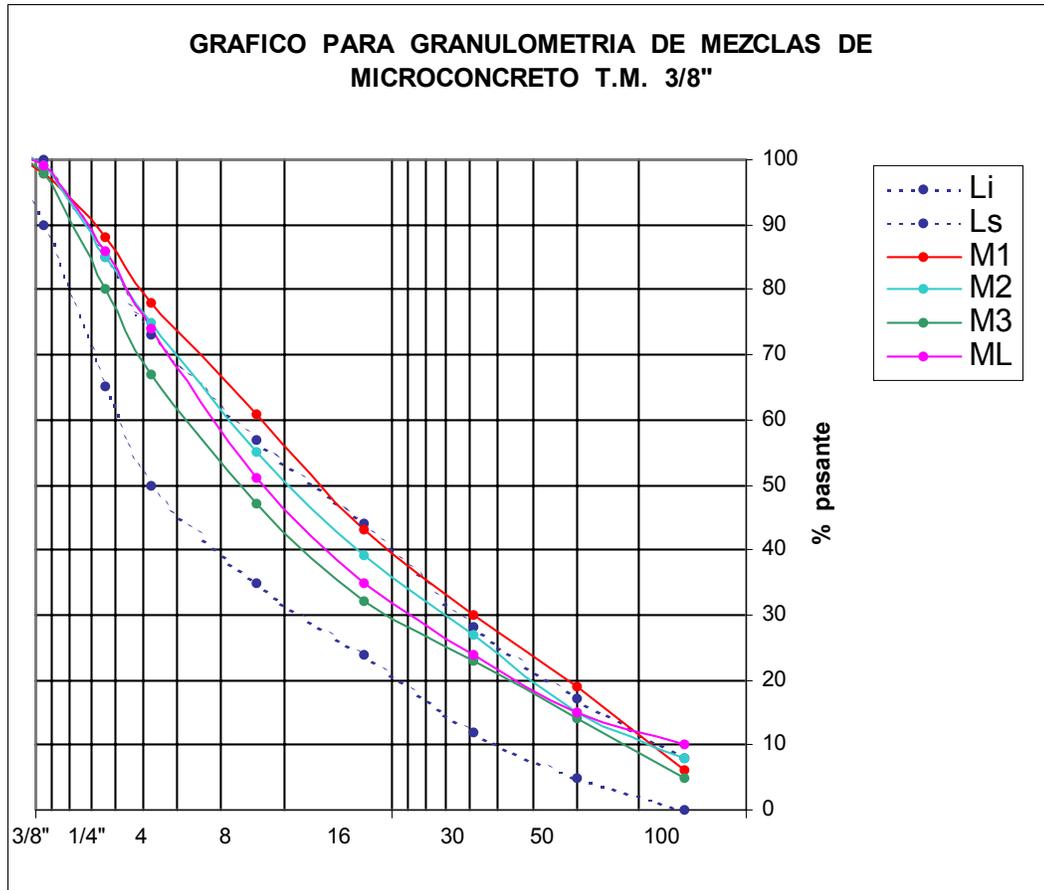
MUESTRA 2				
Tamiz		Peso retenido en cada cedazo	Porcentaje de agregado retenido	Porcentaje de agregado pasante
Pulg	mm	g	%	%
1/2	13	0	0	100
3/8	9,5	8,3	0,99	99
1/4	6,4	116,8	13,90	85
4	4,8	84,7	10,08	75
8	2,4	172,2	20,50	55
16	1,2	132,9	15,82	39
30	0,6	98,6	11,74	27
50	0,3	98,8	11,76	15
100	0,1	64,0	7,62	8

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

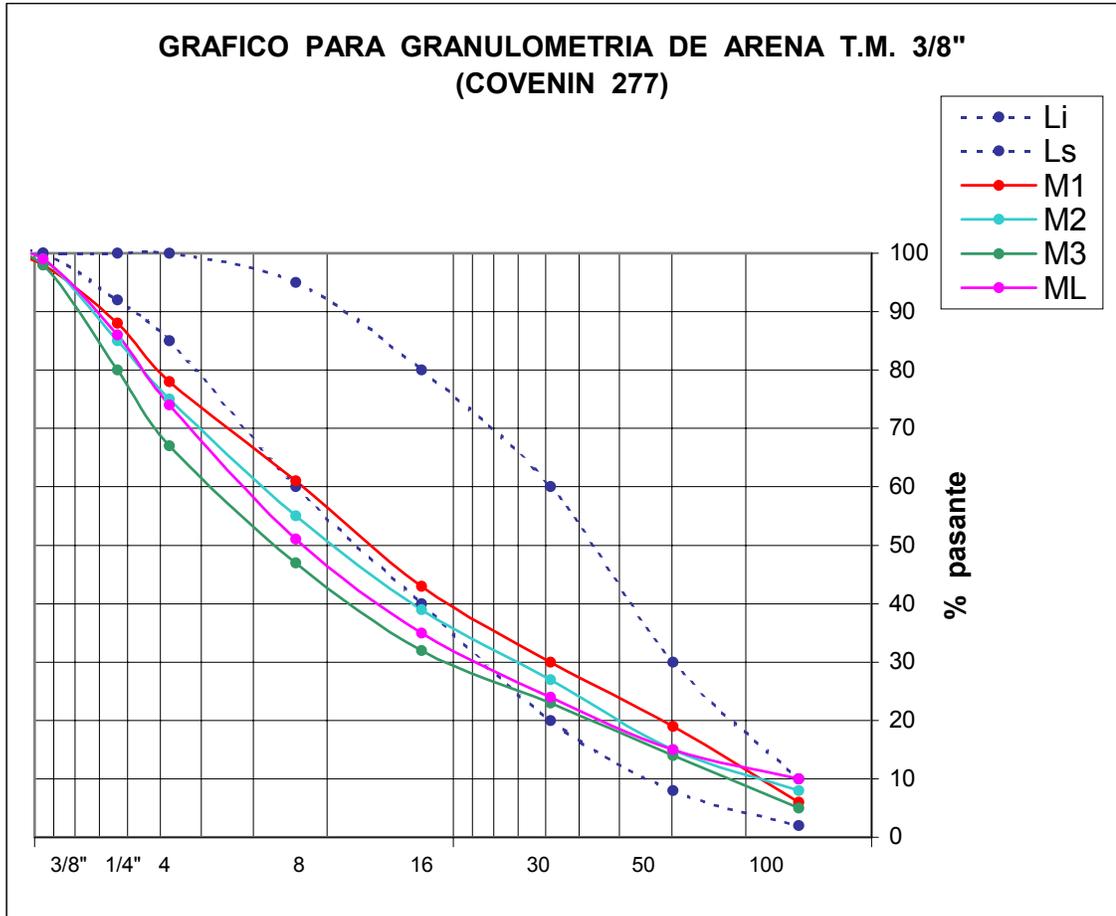
MUESTRA 3				
Tamiz		Peso retenido en cada cedazo	Porcentaje de agregado retenido	Porcentaje de agregado pasante
Pulg	mm	g	%	%
1/2	12,7	0	0	100
3/8	9,53	13,2	1,62	98
1/4	6,35	148,9	18,22	80
4	4,76	109,3	13,38	67
8	2,38	161,3	19,74	47
16	1,19	119,1	14,58	32
30	0,585	79	9,67	23
50	0,298	74,7	9,14	14
100	0,149	73,7	9,02	5

MUESTRA LAVADA				
Tamiz		Peso retenido en cada cedazo	Porcentaje de agregado retenido	Porcentaje de agregado pasante
Pulg	mm	g	%	%
1/2	12,7	0	0	100
3/8	9,53	6,2	1,18	99
1/4	6,35	67,5	12,81	86
4	4,76	65,2	12,37	74
8	2,38	118,5	22,49	51
16	1,19	86,1	16,34	35
30	0,585	59,4	11,27	24
50	0,298	44,1	8,37	15
100	0,149	27,4	5,20	10

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

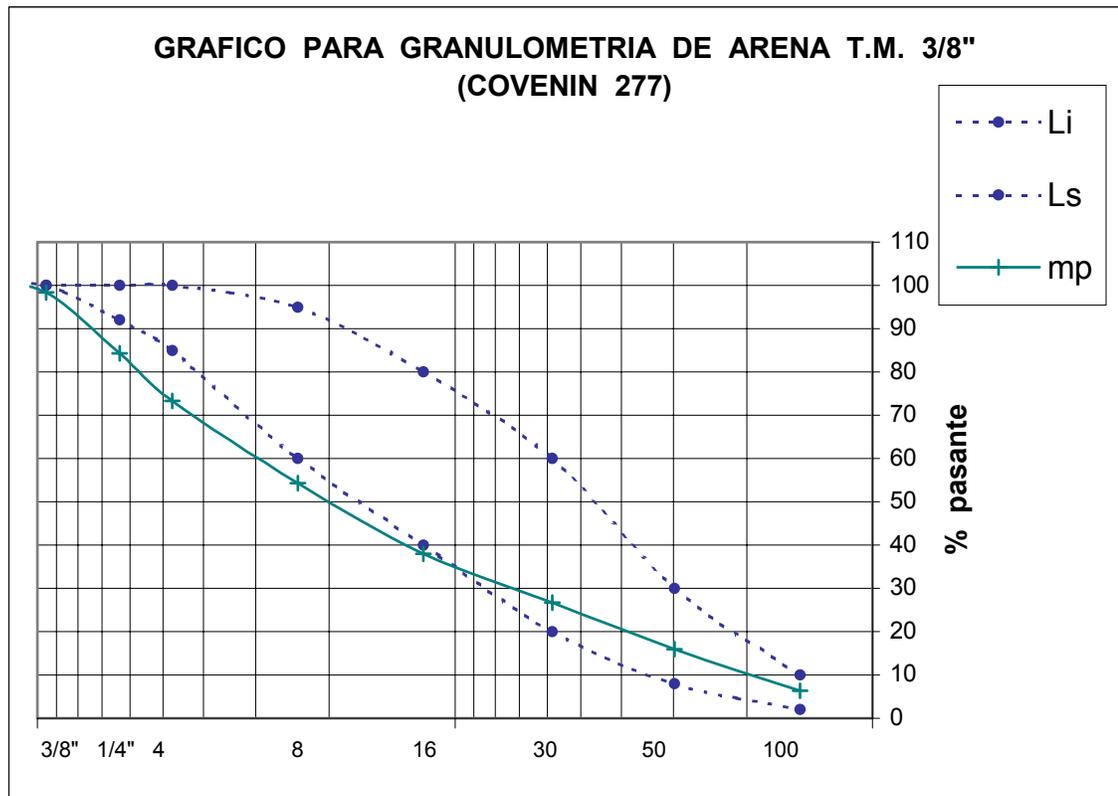


TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

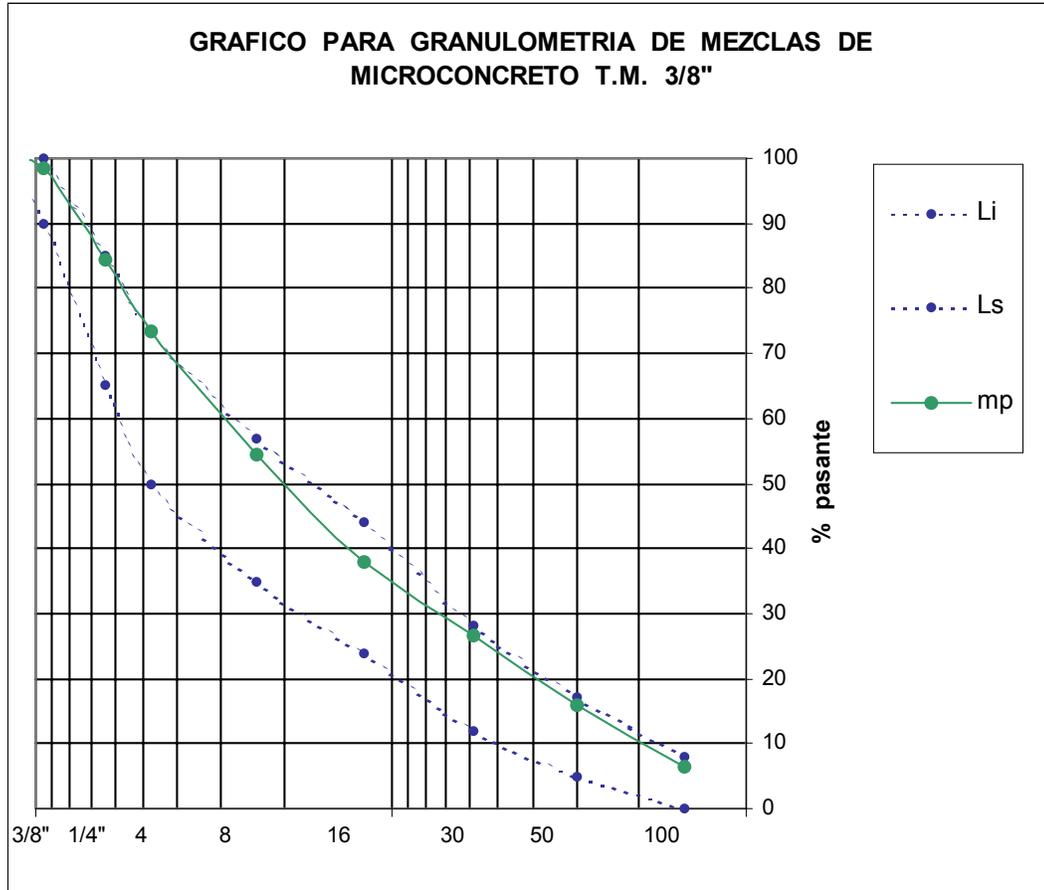


TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Valores promedio M1,M2,M3				
Tamiz		Peso retenido en cada cedazo	Porcentaje de agregado retenido	Porcentaje de agregado pasante
Pulg	mm	g	%	%
1/2	13	0,0	0,00	100
3/8	9,5	11,4	1,62	98
1/4	6,4	107,6	14,08	84
4	4,8	82,6	11,00	73
8	2,4	143,5	19,14	54
16	1,2	117,6	16,08	38
30	0,6	83,4	11,42	27
50	0,3	79,4	10,78	16
100	0,1	69,5	9,72	6



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO B PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

Tamiz	Muestra	Peso Picnómetro seco	Peso agua + picnómetro (wa)	Peso agua + muestra+ Picnómetro. (wp)	Mtra. Sat. con superficie seca (w)	Muestra seca (w1)	Peso específico	Absorción
		g	g	g	g	g	Kg/m3	%
Pasa N°4	1	183,2	680,8	941,9	427	420	2,57	1,67
	2	183,2	680,7	952,9	443	437	2,59	1,37
	3	183,2	680,8	982,3	492	484	2,58	1,65

Peso específico promedio	Absorción
Kg/m3	%
2,58	1,57

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO C CONTROL DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

A continuación se presenta una tabla con todas las humedades calculadas durante el período de ensayos.

CONTROL DE HUMEDAD DEL AGREGADO								
Bolsa	Peso por bolsa	Tara	Peso Tara	Mtra húmeda + Tara	Muestra húmeda	Peso Mtra Seca + Tara	Mtra seca	Humedad por bolsa
#	Kg	#	g	g	g	g	g	%
31	26,40	A	129,8	781,90	652,10	779,60	649,80	0,35
33	27,20	B	136,9	802,90	666,00	800,60	663,70	0,35
9	25,40	A	129,8	725,20	595,40	723,35	593,55	0,31
10	23,50	B	136,9	718,30	581,40	716,05	579,15	0,39
1	25,45	A	129,8	637,40	507,60	635,70	505,90	0,34
2	26,25	B	136,9	644,50	507,60	642,70	505,80	0,36
34	27,20	A	129,8	670,20	540,40	668,10	538,30	0,39
35	27,00	B	136,9	722,50	585,60	720,90	584,00	0,27
15	26,50	A	129,8	626,54	496,74	624,70	494,90	0,37
16	25,50	B	136,9	743,48	606,58	741,50	604,60	0,33
11	26,10	A	129,8	641,55	511,75	639,80	510,00	0,34
12	27,70	B	136,9	772,48	635,58	770,10	633,20	0,38
37	27,00	A	129,8	678,10	548,30	676,10	546,30	0,37
40	27,30	B	136,9	615,20	478,30	613,80	476,90	0,29
18	25,50	A	129,8	716,50	586,70	715,00	585,20	0,26
19	25,80	B	136,9	554,10	417,20	552,70	415,80	0,34
5	26,50	A	129,8	950,20	820,40	948,20	818,40	0,24
6	24,80	B	136,9	956,30	819,40	954,20	817,30	0,26
21	25,60	A	129,8	798,20	668,40	796,10	666,30	0,32
22	25,20	B	136,9	712,90	576,00	711,20	574,30	0,30
24	241,50	A	129,8	883,30	753,50	882,10	752,30	0,16
25	21,60	B	136,9	580,60	443,70	579,20	442,30	0,32
27	20,20	A	129,8	867,30	737,50	865,20	735,40	0,29
28	20,90	B	136,9	737,80	600,90	735,90	599,00	0,32

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO D HUMEDAD PONDERADA DEL AGREGADO FINO

HUMEDAD PONDERADA DEL AGREGADO FINO							
Mezcla	Nº Bolsa	Peso de la bolsa	Peso Necesario	Peso utilizado	Humedad	Peso total	Humedad ponderada
		Kg	Kg	Kg	%	Kg	%
M1	31	26,40	43,23	21,61	0,35	43,23	0,35
	33	27,20		21,61	0,35		
M2	7	27,20	41,69	20,85	0,35	41,69	0,33
	8	25,40		20,85	0,31		
M3	1	23,50	40,15	20,08	0,39	40,15	0,36
	2	25,45		20,08	0,34		
M4	34	21,50	36,59	18,29	0,36	36,59	0,37
	35	21,60		18,29	0,39		
M5	15	26,50	39,17	19,59	0,27	39,17	0,32
	16	25,50		19,59	0,37		
M6	11	25,50	37,69	18,85	0,33	37,69	0,34
	12	26,10		18,85	0,34		
M7	27	20,20	34,31	17,16	0,38	34,31	0,37
	28	20,90		17,16	0,37		
M8	18	27,30	37,33	18,66	0,29	37,33	0,27
	19	25,50		18,66	0,26		
M9	5	25,80	35,60	17,80	0,34	35,60	0,29
	6	26,50		17,80	0,24		
M10-T	21	21,60	40,15	20,08	0,26	40,15	0,29
	22	21,20		20,08	0,32		
M11-T	24	21,50	37,69	18,85	0,30	37,69	0,23
	25	21,60		18,85	0,16		
M12-T	27	20,20	35,60	17,80	0,32	35,60	0,30
	28	20,90		17,80	0,29		

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO E VOLUMEN DE MEZCLA UTILIZADO

El volumen de mezcla se calculó a través del volumen de los moldes utilizados. Se calculó el volumen de cada uno y al total se le añade un 10% de más para cualquier eventualidad.

Ensayo	Edad de ensayo	Número de probetas	Volumen total de concreto por ensayo	Volumen total de microconcreto +10%
	Días		L	L
Compresión	28	3	15,9	28,00
Exudación	1	1	7,85	
Retracción	1	6	1,05	
Flujo	1	1	0,29	

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO F DISEÑO DE MEZCLAS PARA MICROCONCRETO

DISEÑO DE MEZCLAS PARA MICROCONCRETO T.M. 3/8"														
									Corrección de los componentes			Dosificación definitiva para 28 litros de microconcreto		
Mezcla	Relación agua/C	C	Cx42,5	Agua	Agregado	C	Agua	Agregado	Humedad Ponderada	Agregado Corregido	Agua Corregida	Agregado	Cemento	Agua
	α	Sacos	Kg/m ³	lts/m ³	Kg/m ³	Kg	Kg	Kg	%	Kg/m ³	lts/m ³	Kg	Kg	Kg
M1	0,60	10	425	255,0	1543,9	11,9	7,1	43,23	0,35	1525,32	273,59	42,7	11,9	7,7
M2	0,65	10	425	276,3	1489,0	11,9	7,7	41,69	0,35	1471,07	294,18	41,2	11,9	8,2
M3	0,70	10	425	297,5	1434,1	11,9	8,3	40,15	0,35	1416,76	314,82	39,7	11,9	8,8
M4	0,63	12	510	321,3	1306,7	14,3	9,0	36,59	0,33	1290,73	337,26	36,1	14,3	9,4
M5	0,56	12	510	285,6	1398,9	14,3	8,0	39,17	0,35	1382,10	302,45	38,7	14,3	8,5
M6	0,60	12	510	306,0	1346,2	14,3	8,6	37,69	0,36	1330,15	322,08	37,2	14,3	9,0
M7	0,55	14	595	327,3	1225,4	16,7	9,2	34,31	0,33	1210,43	342,25	33,9	16,7	9,6
M8	0,48	14	595	285,6	1333,1	16,7	8,0	37,33	0,30	1316,30	302,35	36,9	16,7	8,5
M9	0,52	14	595	309,4	1271,6	16,7	8,7	35,60	0,25	1255,00	325,95	35,1	16,7	9,1

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE MEZCLAS PARA MICROCONCRETO CON AGREGADO TAMIZADO PASANTE 1/4"														
M10-T	0,70	10	425	297,5	1434,1	11,9	8,3	40,15	0,31	1416,19	315,39	39,7	11,9	8,8
M11-T	0,60	12	510	306,0	1346,2	14,3	8,6	37,69	0,24	1328,54	323,69	37,2	14,3	9,1
M12-T	0,52	14	595	309,4	1271,6	16,7	8,7	35,60	0,30	1255,64	325,32	35,2	16,7	9,1

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

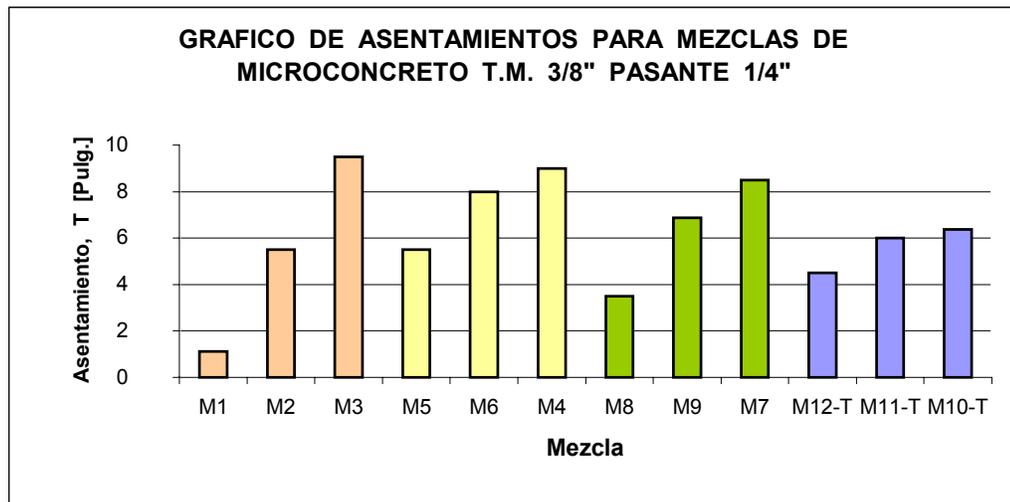
ANEXO G ASENTAMIENTOS

Asentamientos obtenidos a través del cono de Abrams para las mezclas de microconcreto. Tanto para tamaño máximo de 3/8" como para el agregado tamizado pasante 1/4".

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento	
			T	
C		α	cm	Pulgadas
10	M1	0,60	2,9	1 1/8
	M2	0,65	14,0	5 1/2
	M3	0,70	24,1	9 1/2
12	M5	0,56	14,0	5 1/2
	M6	0,60	20,3	8
	M4	0,63	22,9	9
14	M8	0,48	8,9	3 1/2
	M9	0,52	17,5	6 7/8
	M7	0,55	21,6	8 1/2

Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamiento	
			T	
C		α	cm	Pulgadas
14	M12-T	0,52	11,4	4 1/2
12	M11-T	0,60	15,2	6
10	M10-T	0,70	16,2	6 3/8

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

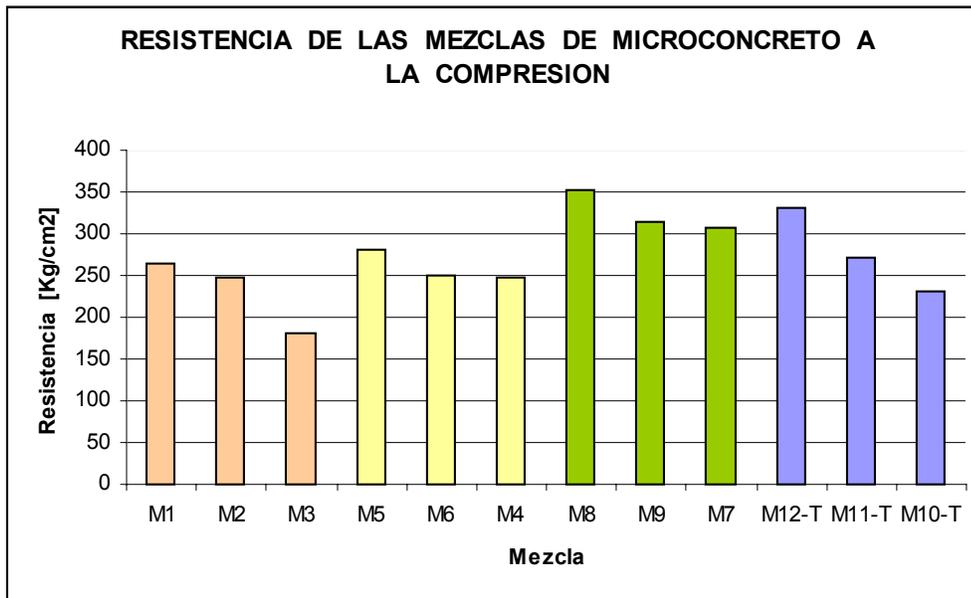
ANEXO H RESISTENCIA A LA COMPRESION

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión para mezclas con arena tamaño máximo 3/8" y tamizadas pasante 1/4"

Muestras tamaño máximo 3/8"								
Sacos	Mezcla	Cilindro	α	T	ϕ	Carga máxima	R ₂₈	R ₂₈ Promedio
C				Pulg	cms	Kgr	Kgr/cm ²	Kgr/cm ²
10	M-1	C-1	0,60	1 1/8	15,05	47800	268,8	265
		C-2			15,06	46600	261,5	
		C-3			15,05	47200	265,3	
	M-2	C-1	0,65	5 1/2	15,12	44000	245,2	248
		C-2			14,94	43800	250,0	
		C-3			15,07	44200	247,7	
	M-3	C-1	0,70	9 1/2	15,02	31600	178,3	181
		C-2			15,01	33000	186,5	
		C-3			15,05	31600	177,7	
12	M-5	C-1	0,56	5 1/2	15,16	50600	280,4	282
		C-2			15,17	51400	284,4	
		C-3			15,05	49800	279,8	
	M-6	C-1	0,60	8	15,10	40200	224,6	249
		C-2			15,07	45400	254,6	
		C-3			15,16	48200	267,1	
	M-4	C-1	0,63	9	15,13	42800	238,1	248
		C-2			15,06	46400	260,4	
		C-3			15,21	44800	246,7	
14	M-8	C-1	0,48	3 1/2	15,07	63400	355,6	352
		C-2			15,05	61600	346,1	
		C-3			14,97	62600	355,5	
	M-9	C-1	0,52	6 7/8	14,95	56200	320,0	314
		C-2			15,09	54600	305,4	
		C-3			14,92	55400	316,7	
	M-7	C-1	0,55	8 1/2	15,07	55600	311,9	307
		C-2			14,98	54400	308,7	
		C-3			14,95	52600	299,6	

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Muestras tamizadas pasante 1/4"								
14	M12-T	C-1	0,52	4 1/2	15,00	58800	332,6	330
		C-2			14,98	59400	337,0	
		C-3			15,06	57000	320,1	
12	M11-T	C-1	0,60	6	15,10	47800	267,0	271
		C-2			15,11	49400	275,4	
		C-3			15,14	48800	271,2	
10	M10-T	C-1	0,70	6 3/8	15,01	41800	236,1	231
		C-2			15,03	41400	233,4	
		C-3			15,02	39400	222,3	



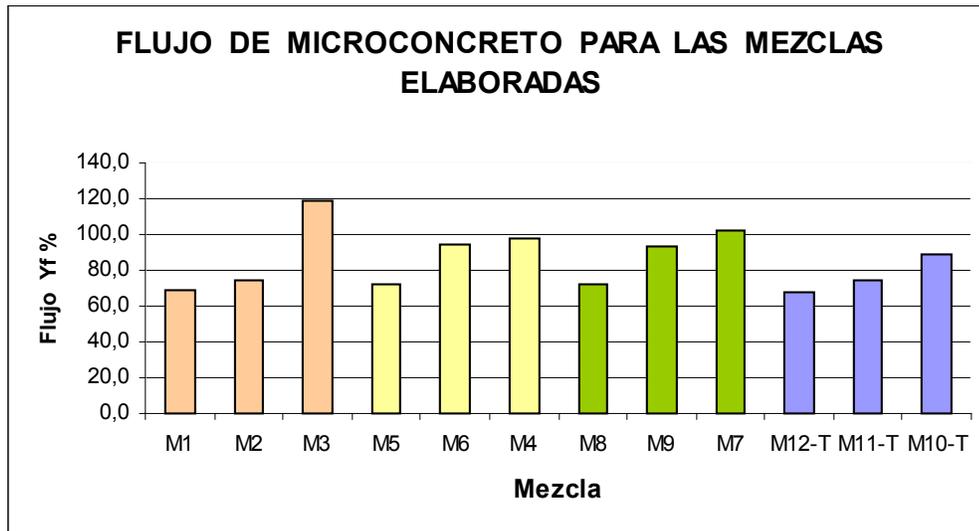
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO I FLUJO DE MEZCLAS

FLUJO DE MUESTRAS TM 3/8"					
Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamientos	Diámetro esparcido De	Flujo, Yf
C		α	T	cm	%
10	M1	0,60	1 1/8	16,9	69,2
	M2	0,65	5 1/2	17,4	74,2
	M3	0,70	9 1/2	21,9	119,2
12	M5	0,56	5 1/2	17,2	71,7
	M6	0,60	8	19,4	94,2
	M4	0,63	9	19,8	98,3
14	M8	0,48	3 1/2	17,3	72,5
	M9	0,52	6 7/8	19,3	93,3
	M7	0,55	8 1/2	20,2	101,7

FLUJO DE MUESTRAS TAMIZADAS, PASA 1/4"					
Sacos	Mezcla	Relación agua/cemento	Asentamientos	Diámetro esparcido, De	Flujo, Yf
C		α	T	cm	%
14	M12-T	0,52	4 1/2	16,8	67,5
12	M11-T	0,60	6	17,4	74,2
10	M10-T	0,70	6 3/8	18,9	89,2

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



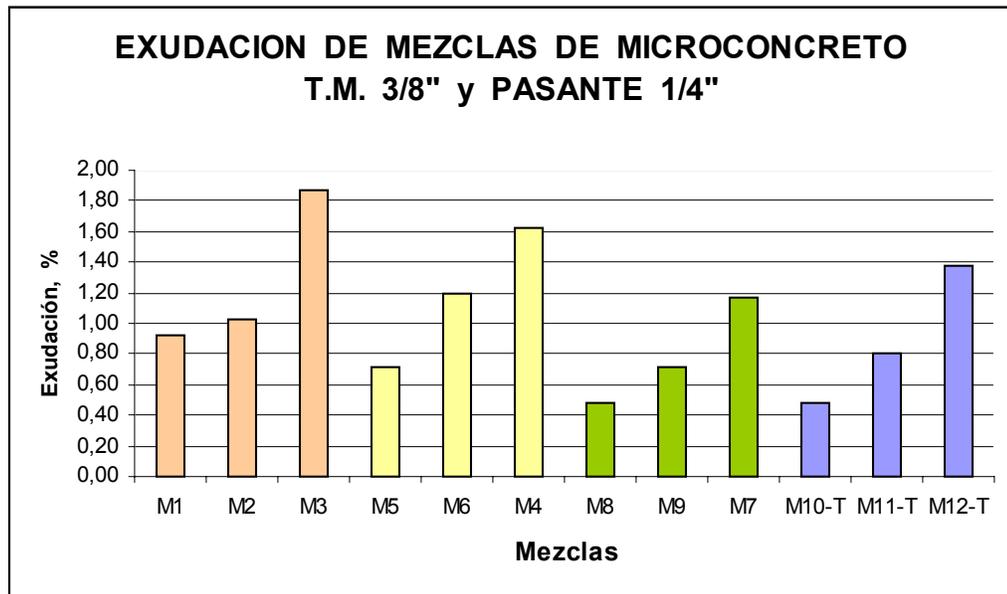
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO J EXUDACION EN EL MICROCONCRETO

Mezcla	Volúmen de agua de Exudación	Area expuesta del concreto	Agua de Ex por unidad. de superficie	Peso total de la mezcla	Peso del recipiente	Peso de muestra + recipiente	Peso de muestra	Peso neto del agua en la mezcla	Agua acumulada de Exudación	Cantidad de agua extraída	Exudación
	V1 cm ³	A cm ²	V cm ³ /cm ²	Wt Kg	Pr Kg	W Kg	W Kg	Wa Kg	We cm ³	Ve cm ³	E %
M1	17	314,16	0,05	62,27	4,80	19,75	14,95	7,7	1,839	17	0,92
M2	22		0,07	61,33		20,85	16,05	8,2	2,156	22	1,02
M3	42		0,13	60,38		20,2	15,40	8,8	2,248	42	1,87
M5	15		0,05	61,45		20,15	15,35	8,5	2,116	15	0,71
M6	26		0,08	60,54		19,5	14,70	9,0	2,190	26	1,19
M4	38		0,12	59,86		19,7	14,90	9,4	2,350	38	1,62
M8	10		0,03	61,98		20,2	15,40	8,5	2,103	10	0,48
M9	16		0,05	60,93		19,9	15,10	9,1	2,262	16	0,71
M7	29		0,09	60,14		20,35	15,55	9,6	2,478	29	1,17
M12-T	11		0,04	60,93		20,15	15,35	9,1	2,295	11	0,48
M11-T	18		0,06	60,54		19,7	14,90	9,1	2,231	18	0,81
M10-T	32		0,10	60,38		20,6	15,80	8,8	2,311	32	1,38

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



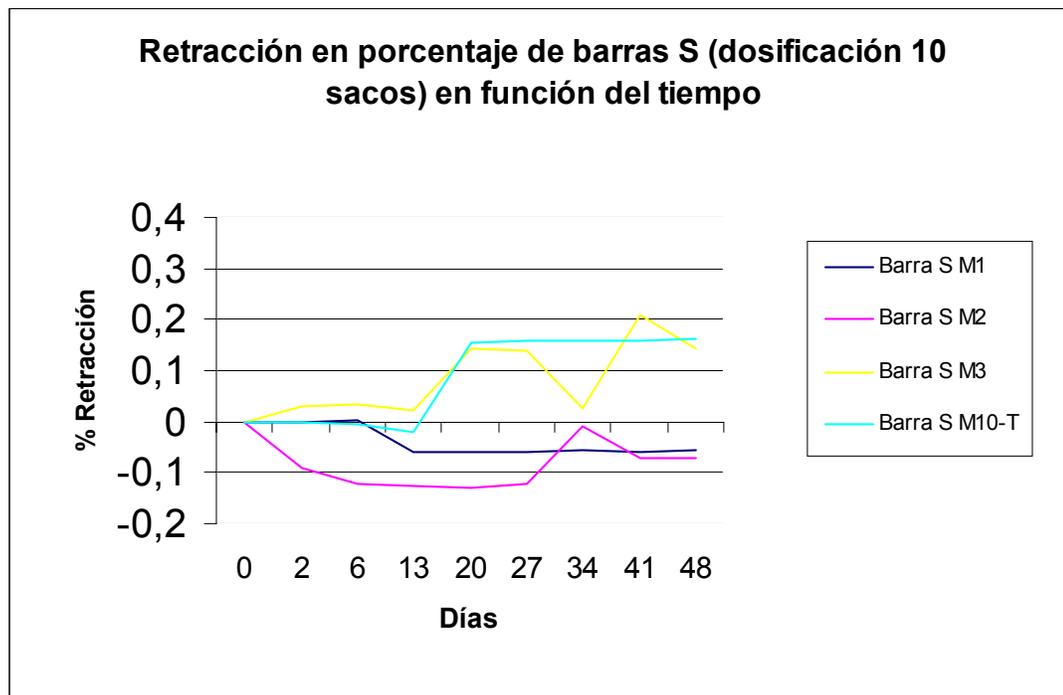
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO K RETRACCION DE MUESTRAS SUMERGIDAS

Las siguientes tablas contienen el registro del entumecimiento de las muestras de microconcreto tipo S.

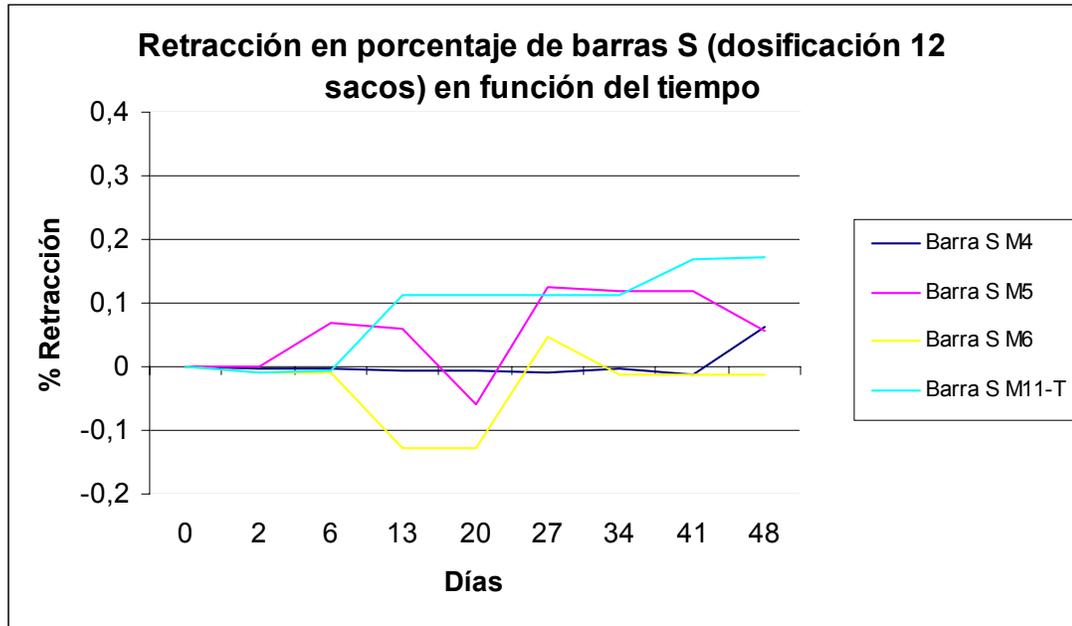
Tiempo	M1	M2	M3	M10-T
	Barras S	Barras S	Barras S	Barras S
Días	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,002	-0,093	0,031	-0,002
6	0,002	-0,122	0,034	-0,004
13	-0,059	-0,128	0,023	-0,020
20	-0,059	-0,129	0,141	0,155
27	-0,060	-0,122	0,137	0,159
34	-0,058	-0,009	0,026	0,159
41	-0,060	-0,070	0,207	0,160
48	-0,058	-0,071	0,141	0,163

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



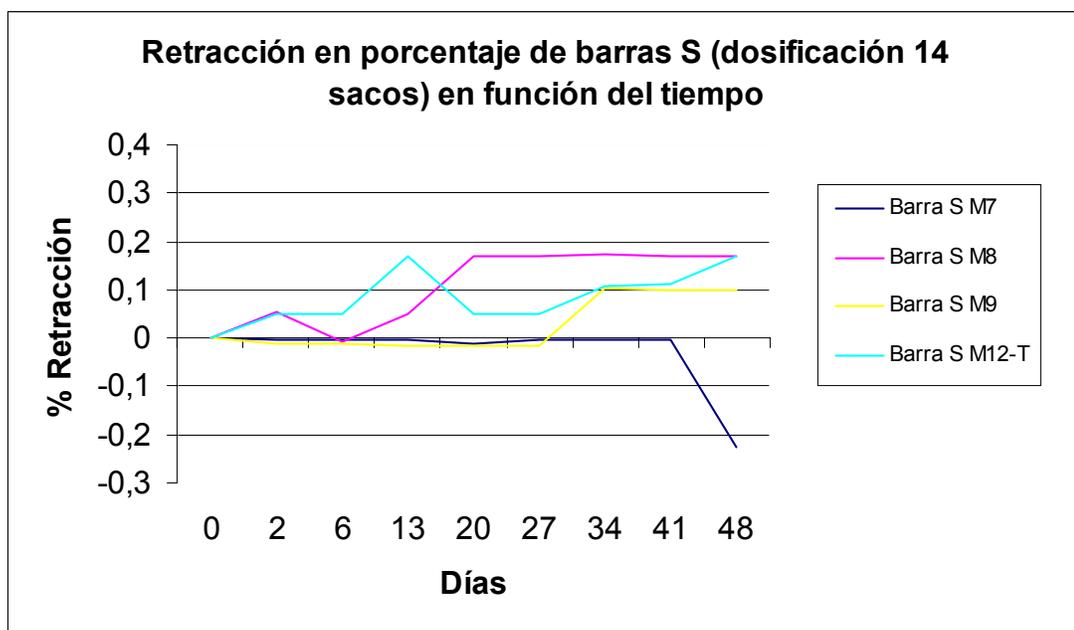
Tiempo	M4	M5	M6	M11-T
	Barras S	Barras S	Barras S	Barras S
Días	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,005	-0,001	-0,010	-0,008
6	-0,004	0,069	-0,008	-0,007
13	-0,007	0,059	-0,129	0,112
20	-0,007	-0,059	-0,130	0,113
27	-0,010	0,125	0,048	0,112
34	-0,004	0,119	-0,012	0,111
41	-0,012	0,118	-0,013	0,168
48	0,061	0,057	-0,014	0,172

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Tiempo	M7	M8	M9	M12-T
	Barras S	Barras S	Barras S	Barras S
Días	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)	Ret (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,003	0,055	-0,010	0,051
6	-0,005	-0,007	-0,012	0,052
13	-0,005	0,049	-0,014	0,168
20	-0,010	0,169	-0,016	0,049
27	-0,003	0,169	-0,015	0,049
34	-0,005	0,172	0,102	0,109
41	-0,005	0,169	0,101	0,111
48	-0,225	0,167	0,101	0,168

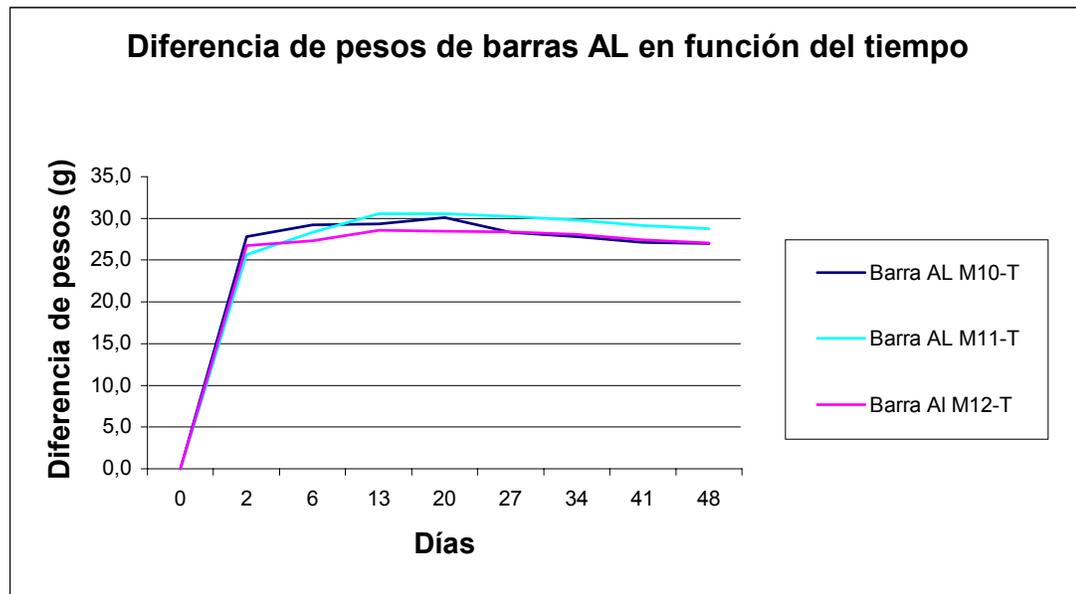
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



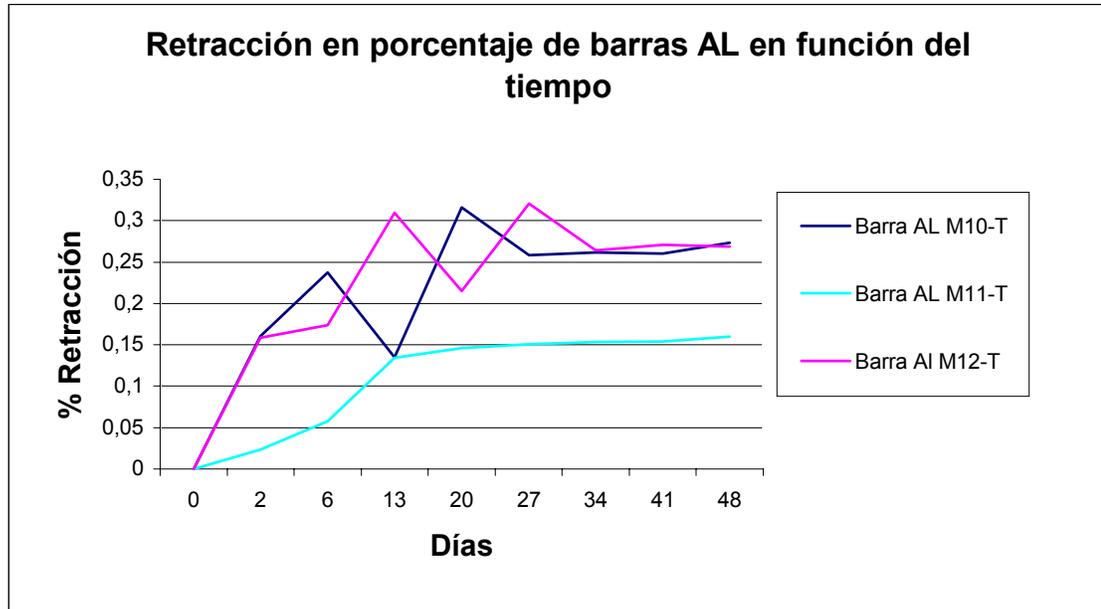
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO L RETRACCION EN EL MICROCONCRETO DE MUESTRAS TAMIZADAS Y DIFERENCIA DE PESOS

Días de vaciado	M10-T	M11-T	M12-T
	g	g	g
0	0,0	0,0	0,0
2	27,8	25,6	26,7
6	29,2	28,3	27,3
13	29,3	30,5	28,6
20	30,1	30,5	28,5
27	28,3	30,3	28,4
34	27,8	29,8	28,1
41	27,1	29,1	27,4
48	27,0	28,8	27,1



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANEXO M RESISTENCIA DE MEZCLA CON ARENA LAVADA

A continuación se presenta una tabla con el resultado del ensayo a compresión de la muestra M3, pero con el agregado previamente lavado para disminuir un poco la cantidad de partículas finas y ultrafinas.

Sacos	Mezcla	Cilindro	α	T	Diámetro	Diam Promedio	Altura	Carga máxima	R ₂₈	R ₂₈ Promedio
					d	d	h			
C				Pulg	cm	cm	cm	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²
10	Lavada	C-1	0,7	10	15,09	14,96	30,03	40000	228	226
					14,91		30,04			
					14,88		30,02			
		C-2			15,08	15,02	30,18	39200	221	
					15,03		30,21			
					14,94		30,15			
		C-3			14,94	14,98	30,17	40100	228	
					14,97		30,07			
					15,02		30,05			